

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Đorđe Arambašić

Zagreb, 2013.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Ivica Garašić

Student:

Đorđe Arambašić

Zagreb, 2013.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se doc. dr. sc. Ivici Garašiću i asistentici Maji Remenar, mag.ing.mech. na pomoću pri izradi završnog rada i prikupljanju literature za isti. Također se zahvaljujem i djelatnicima Laboratorija za zavarivanje FSB – a, Zagreb na pomoću pri izradi eksperimentalnog djela rada i tvrtci Rasco na ustupljenim ispitnim uzorcima.

SADRŽAJ

SADRŽAJ.....	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	IV
SAŽETAK.....	V
PRILOZI	VI
1. Uvod.....	1
2. O robotima.....	3
2.1. Nastanak robota	3
2.2. Industrijski roboti	4
2.3. Primjena robota u zavarivanju	6
2.4. Senzori kod robotiziranog zavarivanja	12
3. MAG zavarivanje	14
3.1. MAG postupak.....	14
3.2. Prijenos metala pri zavarivanju	16
3.3. Plinovi za MAG zavarivanje	18
3.4. Vrste žica kod MAG zavarivanja	22
4. Eksperimentalni rad	24
4.1. Uvod u eksperiment	24
4.2. Opis eksperimenta.....	25
4.2. Zavarivanje uzoraka.....	26
4.2.1. Zavarivanje uzorka u Rasco - u	26
4.2.2. Zavarivanje uzoraka u Laboratoriju	30
4.3. Izrada makro izbrusaka.....	37
4.4. Analiza makro izbrusaka	41
5. Zaključak	45
6. Literatura	46

POPIS SLIKA

Slika 1 - Prvi industrijski robot.....	3
Slika 2 - Prikaz osi i rotacija oko osi na robotu	5
Slika 3 - Sistem za zavarivanje Reis robotics	7
Slika 4 - Robot Reis robotics RV6L	8
Slika 5 - Upravljačka ploča RobotSTAR V	10
Slika 6 - Izvori struje za zavarivanje sa „ARC“ senzorom	11
Slika 7 - Sustav za čišćenje sapnice i rezanje žice	12
Slika 9 – Snježni plug “Mosor - PK”	24
Slika 10 - Prikaz ispitivanog mjesta	25
Slika 11 - Prikaz robota Motoman EA1900N	26
Slika 12 - Izvor struje Fronius TPS 5000	26
Slika 13 – Prikaz debljine zavarivanih ploča u Rasco - u.....	27
Slika 14 - Atest materijala S355J2 + N	28
Slika 15 - Prikaz uzorka zavarenog u Rasco - u	29
Slika 16 - Automat za zavarivanje Bugo	30
Slika 17 - Izvor struje Varstroj VPS 4000.....	30
Slika 19 - Izgled zavara uzorka 1	32
Slika 20 - Izgled zavara uzorka 2.....	33
Slika 21 - Prikaz zavara uzorka 3	34
Slika 22 - Prikaz zavara uzorka 4	35
Slika 23 – Ovisnost debljine zavara o jakosti struje	36

Slika 24 - Prikaz plinskog rezanja uzorka	37
Slika 25 - Prikaz rezanja na kružnoj pili	37
Slika 26 - Prikaz brušenja na stupnoj brusilici.....	38
Slika 27 - Prikaz brušenja na rotacijskoj samostojećoj brusilici	38
Slika 28 - Prikaz brusnih papira za ručnu obradu	39
Slika 29 - Prikaz uzorka uronjenog u "Nital"	40
Slika 30 - Prikaz dobivenih makro izbrusaka	40
Slika 31 - Grafički prikaz debljine zavara uzoraka	41
Slika 32 - Makro izbrusak snježnog pluga	42
Slika 33 - Makro izbrusak zavaren revidiranom tehnologijom.....	43
Slika 34 - Shematski prikaz poprečnog presjeka zavara	44

POPIS TABLICA

Tablica 1 -Karakteristike plinova pri MAG zavarivanju.....	19
Tablica 2 - Eksperimentalni prikaz utjecaja zaštitnog plina na geometriju zavara	20
Tablica 3 - Zaštitni plinovi za MAG zavarivanje niskolegiranih čelika	21
Tablica 4 - Usporedba gubitaka štrcanja pri MAG zavarivanju s različitim zaštitnim plinovima.....	22
Tablica 5 - Kemijski sastav u postotcima određenih vrsta žica za MAG zavarivanje	23
Tablica 6 - Prikaz kemijskog sastava žice KC – 28	27
Tablica 7 - Parametri zavarivanja snježnih plugova.....	29
Tablica 8 - Prikaz kemijskog sastava žice EZ SG2.....	31
Tablica 9 - Prikaz parametara zavarivanja uzoraka u Laboratoriju	32

SAŽETAK

U završnom radu na eksperimentalni način podignuta je brzina zavarivanja snježnih plugova koje proizvodi tvrtka Rasco d.o.o. Snježni plugovi u tvrtci zavarivani su robotiziranom MAG tehnologijom. U Laboratoriju za zavarivanje FSB – a, Zagreb zavarivanje je obavljeno u istim uvjetima i zavarivali su se materijali istog kemijskog sastava. Korištenjem žice većeg promjera i promjenom parametara zavarivanja uspješno su postignuta ista vizualna svojstva kao kod uzoraka dobivenih u Rasco – u uz veću brzinu zavarivanja.

Ključne riječi: MAG, robotizirano MAG zavarivanje, optimizacija robotiziranog MAG zavarivanja

PRILOZI

- I. CD-R disc

1. UVOD

Većina postupaka zavarivanja otkrivena je u prošlom vijeku. Zavarivanje metala je vezano za njegovo dobivanje. Prvo korištenje bakra započelo je prije 10 000 godina, ali korištenje metala nije bilo šire moguće dok čovjek nije naučio izdvajati metale iz ruda taljenjem. Prije 7000 godina, oko 5000 godina prije Krista u Perziji i Afganistanu je započelo izdvajanje metala bakra iz ruda - kamena, taljenjem u vatri. Zavarivanje se razvijalo kao sastavni dio vještina kovača, zlatara i ljevača pri izradi oruđa za rad, oružja, posuda, nakita i raznih građevina. Ljevačko zavarivanje se razvilo usporedno s vještinom lijevanja. Krasne tankostijene lijevane vaze iz bronce imaju na sebi i "zavarenih" dijelova. Kasnijim lijevanjem su se spajali razni držači, oslonci i figure na već ranije odliveno osnovno tijelo vaze ili nekog drugog predmeta. Željezo se u početku našlo na površini zemlje od meteorita (meteorit je meteor koji stigne do zemlje), pa su ga Sumerani zvali "nebeski metal". Prvi tragovi izdvajanja željeza iz ruda datiraju oko 2500 g. p.K., a do šire primjene dolazi kasnije. Željezno doba odnosno željezni predmeti se počinju nalaziti oko 1500 g.p.K., a prvi zapisi o kovačkom zavarivanju željeza u staroj Grčkoj govore da je zavarivanje korišteno u VI st. p.K., za izradu postolja posuda. Dobivanje čelika počinje oko 1000 g.p.K. u Indiji. Najbolji mačevi iz čelika u srednjem vijeku bili su rađeni iz niskougličnog čelika, a na njihove rubove su kovački zavarivane (udarcima čekića u toplom stanju) oštice (trake) od visokougličnog čelika (1,0 - 2,1%C), koje su uz određenu toplinsku obradu davale tvrde, čvrste i oštre bridove. Mačevi, vrhovi strijela i koplja, bodeži i drugo oružje kod kojih su primjenjivali kovačko zavarivanje bili su poznati u Grčkoj, Franačkoj državi, Kini, Japanu, Indoneziji, te u Siriji. Poznata je tehnika spajanja traka iz različitih vrsta željeznih materijala kovanjem kao "damasciranje" (od Damask-Sirija), a u cilju postizanja posebnih dobrih svojstava za mačeve i puške. I za današnji stadij razvoja tehnike ova tehnologija izrade dijelova iz kompozitnih materijala kovačkim zavarivanjem je poprilično zanimljiva. Kod kovačkog zavarivanja se krajevi dva dijela koje želimo zavariti odnosno spojiti zagriju u kovačkoj vatri do bijelog usijanja i ako je potrebno pospu određenim prahom (pijeskom) za "čišćenje". Udaranjem po spoju čekićem istiskuju se s dodirnih površina rastaljeni oksidi ili troska, te se sučeljavaju čiste metalne površine. Kada počnu djelovati međuatomske sile između dva dijela dolazi do čvrstog zavarenog spoja. Prije, a posebno poslije

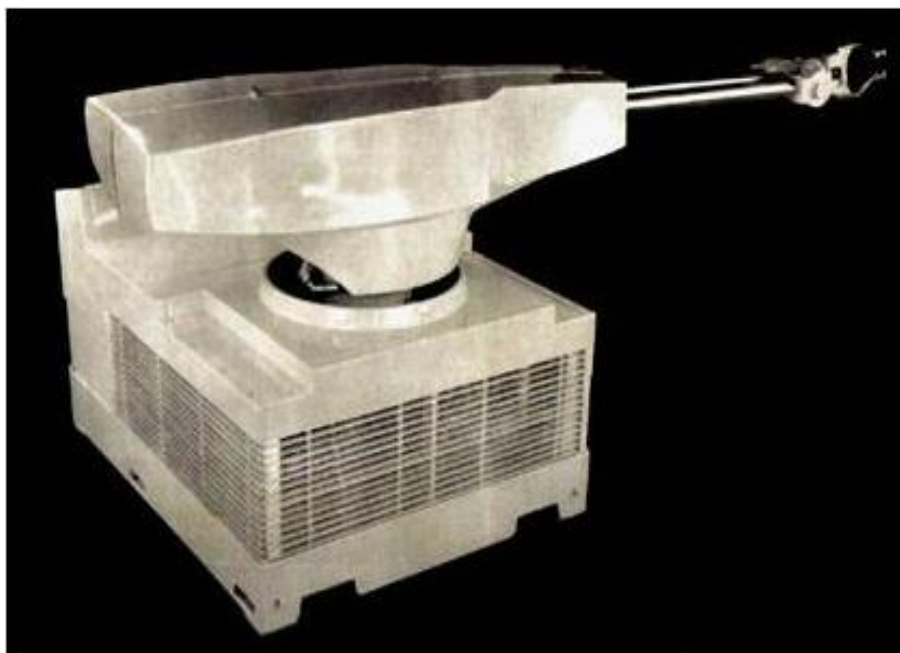
drugog svjetskog rata, počinje razvoj i primjena zavarivanja u zaštitnim plinovima. MIG zavarivanje se počinje primjenjivati 1948. kao Sigma postupak (Shielded Intert Gas Metal Arc), a 1953. u bivšem SSSR se prvi puta primjenjuje MAG postupak s CO_2 kao zaštitnim aktivnim plinom. Hladno zavarivanje pod pritiskom se primjenjuje od 1948.g. Iza 1950. godine se razvijaju mnogi novi postupci kao što su: zavarivanje pod troskom (1951.), trenjem (1956.), snopom elektrona (1957.), ultrazvukom (1960.), laserom (1960.), plazmom (1961.) i drugi. Zavarivanje se izvodi i pod vodom (primjenjuju se različite tehnike). U Hrvatskoj se prije II. svjetskog rata primjenjivalo plinsko zavarivanje, ručno elektrolučno zavarivanje s golim, s jezgrom i dijelom obloženim elektrodama. U to vrijeme su se odgovorne konstrukcije izvodile uglavnom u zakovanoj izvedbi. To su bile posude pod tlakom, kotlovski bubnjevi, veliki cilindrični rezervoari, nosive čelične konstrukcije, mostovi, vagoni i drugi proizvodi. Bušači rupa za zakovice, zakivači i podbijači, koji su radili u velikoj buci od zakivanja i podbijanja bila su tada važna zanimanja, koja su danas iščezla zajedno sa zakovanim konstrukcijama. Značajniji razvoj zavarivanja u Hrvatskoj postignut je uoči II. svjetskog rata kada je realizirano nekoliko većih objekata u zavarenoj izvedbi. Među njima je i veliki zavareni cestovni most preko rijeke Save, u produžetku Savske ceste u Zagrebu. To je jedan od prvih većih uspješno zavarenih mostova u svijetu. Izradilo ga je i montiralo poduzeće "Đuro Đaković", Slavonski Brod. (tada "Prva jugoslavenska tvornica strojeva mostova i vagona"). U periodu 1950. - 1960. brzo se napuštaju zakovane konstrukcije, a pored REL postupka postupno se uvode ostali postupci zavarivanja koji se i danas koriste. Zavarivanje je interdisciplinarna tehnologija. Za razumjevanje i korištenje ove tehnologije nužna su znanja područja: Znanosti o materijalima i metalurgije (metalurgija zavarivanja), termodinamike (temperaturna polja pri zavarivanju), elektrotehnike (izvori struje, električni luk), kemije (metalurški i drugi procesi koji se odvijaju pri zavarivanju), informatike (ekspertni sustavi, različiti proračuni, baze podataka, ...) i dr. Budući da zavareni spoj može biti najslabije mjesto u konstrukciji, on je najvažniji za istraživanje. "Lanac je toliko jak koliko je jaka najslabija karika lanca". [1]

Daljnim razvojem zavarivačke industrije razvijale su se i druge grane kao što su na primjer robotizacija. Spajanjem te dvije grane razvijeno je robotizirano zavarivanje koje je za razliku od ručnog puno produktivnije te se pokušava izbjeći da ljudi rade mukotrpne, zamorne i monotone poslove.

2. O ROBOTIMA

2.1. NASTANAK ROBOTA

Iako je čovječji genije dao veličanstvene pronalaskе, ipak je javnost posebno fascinirana strojevima koji na neki način oponašaju svog tvorca. Ideja i izvedba mehaničkih automata bilo je još u antičko doba pa sve do danas. U 20. stoljeću prvi put se susreće i naziv robot, a uveo ga je češki književnik K. Čapek u svojoj drami "R.U.R." Radnja drame temeljena je na srednjovjekovnoj legendi u kojoj je rabin Judel oživio čovjekoliku figuru Golema da bi je podvrgao svojoj vlasti. Izraz robot etimološki je vezan za pojmove široko rasprostranjene slavenskim jezicima rabota – rad, robotnik – kmet. Suvremeni roboti nastali su 1950 – ih godina u SAD – u , a potječu od pronalaska teleoperatora, s jedne strane, te numerički upravljanih strojeva, s druge strane. Teleoperatori su razvijeni u vrijeme rata radi potrebe daljinskog rukovanja nuklearnim sirovinama, a numerički upravljani alatni strojevi pojavili su se nakon rata kao rješenje problema izrade složenih avionskih dijelova. Kombinirajući te dvije različite tehnike, Amerikanac G. Devol je 1954. godine patentirao uređaj koji bi se mogao smatrati pretečom današnjeg industrijskog robota. U suradnji sa J. Engelbergerom izradio je 1958. godine i prvi robot prikazan na slici 1. [2]



Slika 1 - Prvi industrijski robot [3]

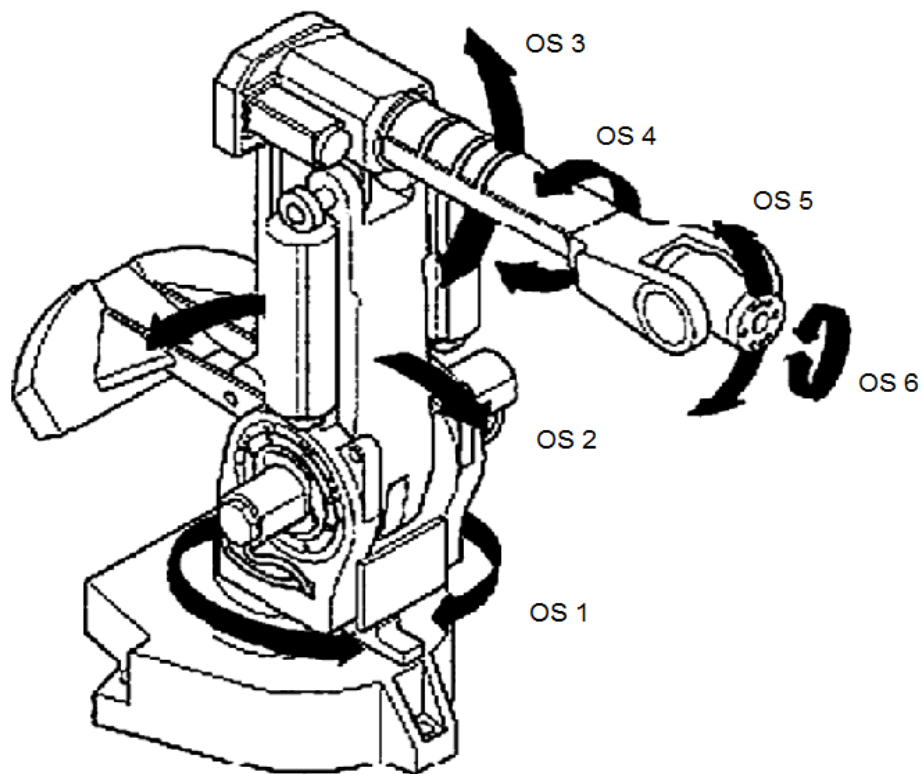
2.2. INDUSTRIJSKI ROBOTI

Prema definiciji industrijski robot je automatski upravljiv, reprogramljiv, višenamjenski manipulator programivljiv u tri ili više osi, koji može biti ili stacionaran ili mobilan za primjenu u industriji. Industrijski roboti se još nazivaju robotski manipulatori ili robotske ruke. [4]

Glavni djelovi robota su :

- mehanička struktura ili manipulator koji se sastoji od niza krutih segmenata povezanih pomoću zglobova
- Ponašanje manipulatora je određeno rukom koja osigurava pokretljivost, ručnim zglobom koji daje okretljivost i vrhom manipulatora koji izvršava operacije koje se zahtijevaju od robota
- Aktuatori postavljaju manipulator u određeno kretanje pomicanjem zgloba. Najčešće se koriste električni i hidraulički motori
- Senzori detektiraju status manipulatora i ako je potrebno status okoline
- Sustav upravljanja omogućuje upravljanje i nadzor kretanja manipulacije

Robote je moguće podijeliti u više vrsta pa su tako najčešće korišteni roboti artikularni roboti, SCARA roboti i Kartezijev koordinatni robot. Neki roboti su programirani da vjerno obavljaju određene akcije iznova i iznova (repetitivne radnje), bez varijacija i s visokim stupnjem točnosti. Najčešća građa robota je u obliku lanaca krutih članaka koji su međusobno povezani pokretnim zglobovima. Uspoređujući ih s ljudskom građom možemo reći da se robot sastoji od grudi, nadlaktice, podlaktice i ramenim, lakatnim i ručnim zglobovima. Na kraju robotske ruke nalazi se završni mehanizam tj. alat ili šaka. Važna karakteristika svakog robota je broj njegovih zglobova za rotacijsko ili translacijsko gibanje. Obično ima šest osi/zglobova prikazano na slici 2.



Slika 2 - Prikaz osi i rotacija oko osi na robotu [5]

Trenutno se u svijetu koristi nešto više od 850 000 robota, od čega čak dvije trećine otpada na Japan, a ostatak na SAD i Europu. Svoju primjenu roboti najčešće nalaze pri vrlo opasnim ili dosadnim poslovima. [4]

Podjela industrijskih robota:

Po vrsti pogona:

- Istosmjerni, izmjenični, koračni motor kao pogon
- Hidraulički pogon
- Pneumatski pogon

Po geometriji radnog prostora:

- Pravokutna TTT
- Cilindrična RTT
- Sferna RRT
- Rotacijska RRR

Po načinu upravljanja kretanjem:

- Od točke do točke (nije bitna putanja nego točnost pozicioniranja)
- Kontinuirano gibanje po putanji (bitna i trajektorija i točnost pozicioniranja)

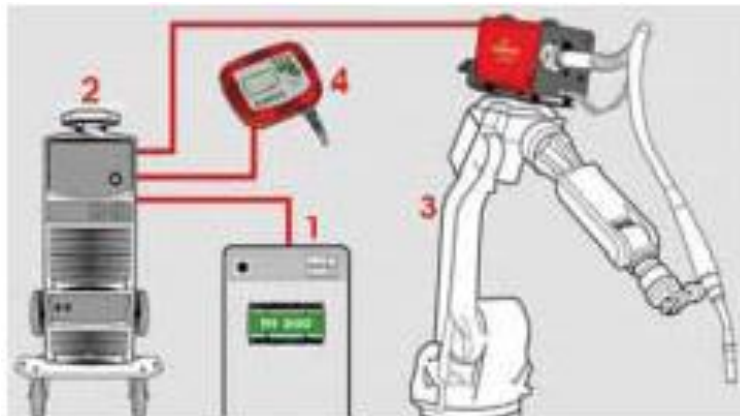
2.3. PRIMJENA ROBOTA U ZAVARIVANJU

Prema definiciji, roboti za zavarivanje su automatski strojevi za zavarivanje koji imaju više od tri stupnja slobode gibanja, a upravljaju se računalom s mogućnošću programiranja i reprogramiranja. Na proizvodnim linijama tvornica automobila, transportne radnike i zavarivače sve više zamjenjuju roboti i automati za zavarivanje. Prvi automati za zavarivanje pod praškom tipa Unionmelt koristili su se u SAD-u oko 1930. godine najviše kod zavarivanja brodova. Ti automati imali su uređaj za automatsko dovođenje žice za zavarivanje od glave za zavarivanje do mjesta zavarivanja. Glava za zavarivanje bila je montirana na kolica koja su mogla mijenjati brzinu kretanja, odnosno brzinu zavarivanja. Razvoj i automatizacija zavarivanja temelje se na primjeni različitih senzora i računala za praćenje, bilježenje i upravljanje parametrima zavarivanja, uz predviđanje grešaka i istodobno otklanjanje uzroka. U Japanu je 1996.g. postignut stupanj automatizacije od 44% i stupanj

robotizacije od 23% u proizvodnji automobila i strojeva. Najčešće se pod pojmom robota podrazumijeva "industrijski robot" koji se još naziva i "robotski manipulator" ili "robotska ruka". [6]

Glavni sastavni dijelovi sistema za zavarivanje Reis robotics prikazani su na slici 3

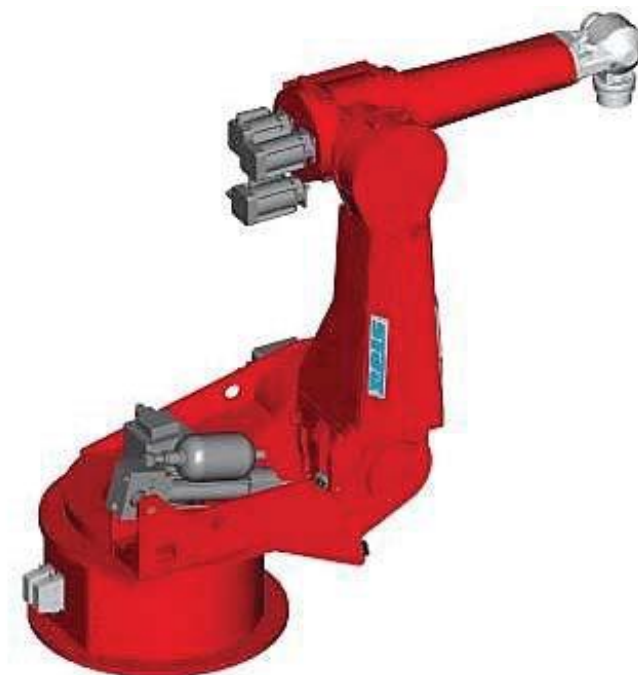
1. računalo (Siemens S7 PLC)
2. izvor struje za zavarivanje (TransPuls Synergic 4000)
3. robot Reis robotics "RV6L"
4. upravljačka ploča - kontrolor (ROBOTstarV)



Slika 3 - Sistem za zavarivanje Reis robotics [6]

Sistem upravljanja (računalo i upravljačka ploča) omogućuje upravljanje i nadzor kretanja manipulatora. Siemens S7 PLC (Programabilni Logički Controler - regulator) je industrijsko računalo za upravljanje procesima i senzorima, za prikupljanje podataka i vizualno upravljanje. Ima velik broj ulaza i izlaza. Svaki PLC ima središnju procesorsku jedinicu (CPU – Central Processing Unit) za pohranu i prikupljanje podataka na koji se spaja upravljačka ploča ROBOTStarV. Ulazni dio sastoji se od priključne vijčane stezaljke na koju se spajaju signali iz okoline, odnosno prikupljaju se podaci sa senzora smještenih na robotskoj ruci RV6L. Izlazni dio su priključne vijčane stezaljke na koje se spajaju izvršni uređaji iz procesa, kojima PLC šalje upravljačke signale. Manipulator sistema za zavarivanje sastoji se iz niza krutih segmenata povezanih zglobovima. Ponašanje manipulatora određeno je rukom koja osigurava pokretljivost, zatim ručnim zglobovima koji daju okretljivost, te vrhom manipulatora koji zavaruje.

Detaljnije će biti opisan Robot za zavarivanje Reis robotics RV6L prikazan na slici 4.



Slika 4 - Robot Reis robotics RV6L [6]

Karakteristične veličine bitne za rad robota su:

Broj osi - za translacijsko i rotacijsko pomicanje osnovnih segmenata. Gibanje robota odvija se u trodimenzionalnom prostoru, pa se prve tri osi najčešće koriste za određivanje pozicije ručnog zgloba, dok preostale osi određuju orijentaciju vrha manipulatora. Robot RV6L ima 6 osi te može dovesti vrh manipulatora u bilo koji položaj unutar radnog prostora.

Brzina gibanja - najviše ovisi o tipu robota i njegovoj namjeni. Roboti pokretani hidrauličkim motorima znatno su brži od ostalih. RV6L koristi električni motor, koji postiže dovoljno velike radne brzine za zavarivanje. U proizvodnji je poželjno skratiti vrijeme izvršenja pomoćnih operacija, a određivanje optimalne brzine s namjerom da se smanji ukupno vrijeme proizvodnje ovisi o točnosti pozicioniranja vrha manipulatora, materijalu koji se zavaruje i dužini zavarivanja.

Maksimalno opterećenje robota - najveća masa tereta koju robot može prenijeti, a ovisi o veličini, konfiguraciji i konstrukciji robota te o pogonskom

sistemu zglobova robota. Masa tereta se kreće u rasponu od nekoliko kilograma do nekoliko tona. Robot RV6L može se opteretiti maksimalnom masom od 6 kg, što znači da masa tereta (u ovom slučaju masa pištolja za zavarivanje) ne smije prelaziti zadanu težinu u trenutku kad je robotska ruka u krajnje ispruženom položaju.

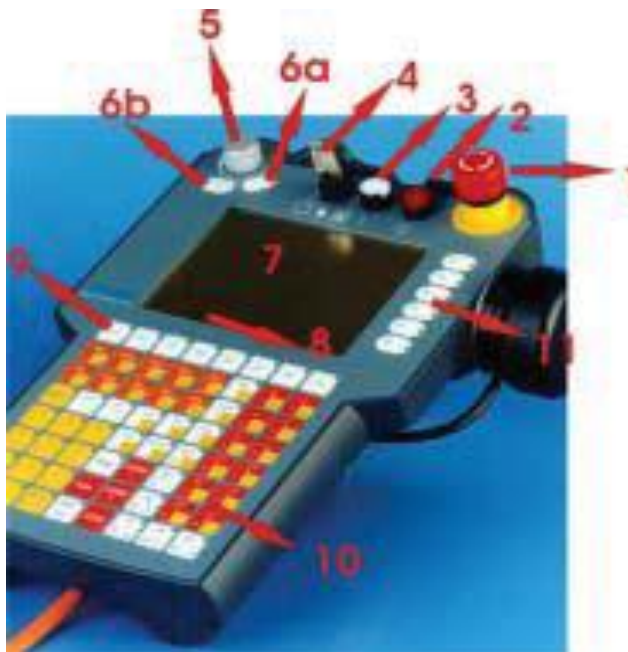
Točnost - sposobnost robota da dovede vrh manipulatora (pištolj za zavarivanje) u proizvoljan položaj u radnom prostoru.

Ponovljivost - sposobnost robota da vrh manipulatora dovede ponovno u istu poziciju. Pogreška koja može nastati pri povratku u isti položaj najčešće je manja od 1 mm, a javlja se zbog zazora zupčanika i elastičnosti segmenata.

Maksimalan doseg - maksimalna udaljenost između ručnog zgloba robota i baze robota koju ručni zglob može dosegnuti. RV6L je rotacijski robot (sve osi imaju rotacijske zglobove), pa mu se dijelovi mogu pomicati po cjelokupnom radnom prostoru (360°). Važno je također robot zaštititi od samoranjavanja. Može se dogoditi da zbog pogrešno programirane putanje robot udari sam sebe ili se sudari s predmetima u svojoj radnoj okolini. Ako određeni zadatak zahtijeva međudjelovanje vrha manipulatora i okoline, problem upravljanja postaje složeniji. U tom slučaju se moraju uzeti u obzir i sile na mjestu dodira, a ti podaci se dobiju pomoću senzora.

Siemens S7 PLC (upravljački uređaj – računalo) djeluje na pogonski dio (električne motore) koji pokreće mehanizam robota, tako da vrh manipulatora (pištolj za zavarivanje) dođe u zadani položaj u odnosu na radni komad ili okolinu. Mjerenjem položaja i brzine vrha manipulatora (sistem za mjerenje položaja) dobije se preko unutarnje povratne veze informacija kojom se može korigirati kretanje.

Pomoću upravljačke ploče (slika 5) učitava se DNC program, što znači da se slijedno izvršava niz naredbi, aktiviraju se odgovarajuće funkcije stroja te se pokreću gibanja pojedinih zglobova.



Slika 5 - Upravljačka ploča RobotSTAR V [6]

Tipkovnicom upravljačke ploče moguće je upravljati svim funkcijama stroja. Upravljačka ploča nema svoju memoriju nego podatke pohranjuje i učitava sa središnje procesorske jedinice PLC-a. Pritiskom na tipku 3 pogon je uključen, robot se uključuje, a isključuje se pritiskom na tipku 2. Pritiskom na tipku 1, sigurnosna sklopka, robot se može također isključiti. Ova tipka se koristi za bezuvjetno zaustavljanje gibanja robota u slučaju da je pogrešno isprogramirano njegovo kretanje, pa bi moglo doći do oštećenja robota ili predmeta u njegovoj okolini. Pomoću poz. 4 (ključ upravljanja) izabere se način programiranja zavarivanja, način izvođenja zavarivanja i način kretanja robotskog manipulatora. Moguća su 3 položaja ključa: Automatski položaj – ovaj položaj ključa upravljanja omogućuje da stroj za zavarivanje samostalno izvršava upisane naredbe. Postavljanje (SETTING) – preko tipkovnice direktno se upisuju pomaci robota. Upisuje se početni položaj iz kojeg kreće manipulator i krajnji položaj u koji se želi dovesti manipulator. Automatski test – ova opcija daje mogućnost za pregled i provjeru isprogramiranih položaja robotske ruke. Kod testiranja zavarivanja ta mogućnost nije uključena, pa se robotska ruka može zaustaviti u svakom položaju. Nakon provjere ispravnosti položaja mogu se

prema potrebi promijeniti vrijednosti koordinata. Ovo ujedno služi kao kontrola ispravnosti procesa zavarivanja prije početka zavarivanja. Potenciometar (poz. 5) brzina omogućuje usklađivanje brzine kretanja robotske ruke ili pojedinih segmenata robotske ruke. Brzina se određuje u postocima i to na način da 0% znači da se robot ne kreće (stanje mirovanja), a 100% da koristi maksimalnu brzinu određenu programom. Maksimalna brzina određuje se prema funkciji koju robot obavlja. Kod kretanja u programirani položaj (pozicioniranje) koriste se veće brzine, a kod samog zavarivanja relativno male brzine. Posebna tipka (poz. 11), otvaranje makronaredbe, nudi nekoliko posebnih programa (makronaredbe) koji su spremljeni u PLC-u. Najčešće su to potprogrami za pozicioniranje robotskog manipulatora u početni ili transportni položaj i najviše korištena makronaredba, za automatsko čišćenje pištolja za zavarivanje. Pomoću posebnih tipki 6.a. i 6.b. omogućuje se uključivanje, odnosno isključivanje makronaredbe. Funkcijske tipke (poz. 9) omogućuju različite izmjene programa naredbi i ostalih funkcija samog robota. To su tipke od F1 do F6, a njihove mogućnosti pokazane su na poz. 8 izbornik za funkcijske tipke. [6]

Poželjno je da robotska stanica ima elektrolučni senzor kao što je prikazano na slici 6 te sustav za čišćenje sapnice i rezanje žice ako se radi o MIG/MAG zavarivanju prikazano na slici 7.



Slika 6 - Izvori struje za zavarivanje sa „ARC“ senzorom [7]



Slika 7 - Sustav za čišćenje sapnice i rezanje žice [7]

2.4. SENZORI KOD ROBOTIZIRANOG ZAVARIVANJA

Zbog bolje mogućnosti kontroliranja i proučavanja samih zavarenih spojeva sve se više koriste automatizirani uređaji za zavarivanje. Želimo li uz kvalitetu povećati i produktivnost odnosno smanjiti neželjene zastoje prilikom proizvodnje neophodno je na te automatizirane uređaje postaviti senzore koji će spriječavati bilo kakve neželjene situacije. Senzor je uređaj koji na posredan ili neposredan način mjeri određene parametre, pretvara ih u digitalni oblik i šalje na računalo gdje se taj signal sa senzora obrađuje i pomaže u reguliranju drugih parametara prilikom zavarivanja. Glavni zadatak senzora je da kontrolira proces i vodi ga po zadanim parametrima. Kod zavarivanja to nije nimalo jednostavno kao što se na prvi pogled može činiti. Uređaji za automatizirano zavarivanje sastoje se od izvora struje, uređaja za dobavu žice, pištolja i robotske ruke. Najčešća podjela senzora vrši se prema karakteristikama koje senzor mjeri. Tako ih je moguće podijeliti na geometrijske i tehnološke senzore. U tehnološke spadaju mjerenje napona, mjerenje struje i brzina dobave žice.

Mjerenje napona električnog luka – mjerenje napona mora se odvijati što bliže električnom luku. Struja se dostavlja na kontaktnu vodilicu pa je to najpovoljnija točka za mjerenje razlike potencijala.

Mjerenje struje zavarivanja - Postoje dvije vrste senzora za mjerenje struje kod zavarivanja. To su mjerenje struje na principu Hallovog efekta i mjerenje struje pomoću strujnog otpornika (shunt). Senzor na principu Hallovog efekta sastoji se od željezne jezgre kroz koju je postavljen efekt mjerenja. Sam uređaj za mjerenje se nalazi unutar željezne jezgre, a sastoji se od silikonom legirane pločice na koju su spojena dva para vodiča. Prvi par vodiča dovodi struju na senzor koji tada reagira odgovarajućim signalom na drugi par vodiča. Signal kojeg senzor emitira proporcionalan je magnetskom polju, a samim time i struji. Mjerenje struje pomoću strujnog otpornika vrši se na taj način da se mjeri pad napona na otporniku i iz toga se po Ohmovom zakonu računa struja.

Brzina dobave žice - je glavni prametar za postizanje stabilnog zavarivačkog procesa. Povećanjem struje zavarivanja povećava se i brzina žice. Točnu vrijednost brzine dobave žice vrlo je teško izmjeriti u realnim uvjetima jer se prilikom odmotavanja kalema smanjuje opseg.

Geometrijski senzori moraju dobiti informacije o geometrijskom izgledu zavora po kojem će dalje regulirati proces. U nekim slučajevima senzor mjeri položaje i orijentira se prema nekoj karakterističnoj točki i na taj način kontrolira proces. Potrebno je također ta mjerenja vršiti prilikom postupka zavarivanja što je bitno otežano visokom temperaturom, bljeskom i visokim strujama. Geometrijski senzori dijele se na optičke i elektrolučne senzore.

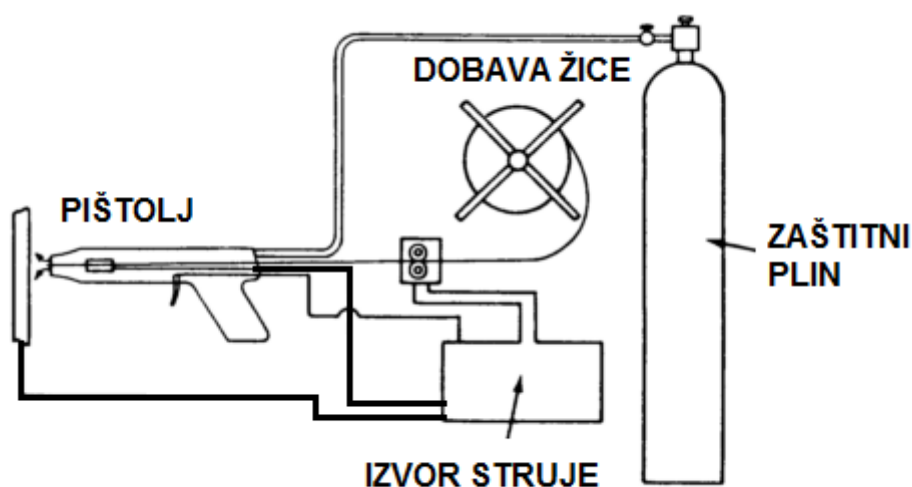
Optički senzori - Za optičko praćenje žlijeba pri elektrolučnom zavarivanju potreban je emiter laserske zrake i CCD (Charge coupled device) kamera. Pojednostavljeni princip rada opreme je sljedeći: emiter laserske zrake tijekom gibanja pištolja za zavarivanje emitira zraku prema radnom komadu koja se reflektira. CCD kamera snima reflektirane zrake i pomoću dobivenih podataka daje povratne informacije o žlijebu.

Elektrolučni senzori - Osnovni zahtjev koji mora biti ispunjen, kada je riječ o robotiziranom postupku zavarivanja, je taj da sustav ima mogućnost preciznog praćenja linije zavora. To je vrlo bitno jer sveukupna razina kvalitete zavarenog spoja ovisi između ostalog i o geometriji zavarenog spoja te „ponašanju“ taline tijekom procesa zavarivanja.

3. MAG ZAVARIVANJE

3.1. MAG POSTUPAK

Kod ovog postupka zavarivanja električni luk se održava između taljive, kontinuirane elektrode u obliku žice, u pravilu spojene na plus pol istosmjernog izvora struje. Proces se odvija u zaštitnoj atmosferi koju osiguravaju aktivni plinovi (CO_2 i mješavine). Naziv MAG znači da se radi o zavarivanju pod zaštitom aktivnog plina. Shematski prikaz opreme za MAG zavarivanje prikazan je na slici 8. [8]



Slika 8 – Shematski prikaz MAG zavarivanja [8]

Pogonski sustav dodaje žicu konstantnom brzinom kroz cijevni paket i pištolj u električni luk. Žica je istovremeno i elektroda i dodatni materijal, to jest njenim taljenjem se popunjava pripremljeni žlijeb. Kad se zavarivanje vrši dalje od 5 m od izvora struje obično se primjenjuje dodatni pogon za dobavu žice smješten u samom pištolju. Uobičajeni naziv za takav sustav se zove “push – pull”. Njegova primjena nužna je i na manjim udaljenostima ako se radi s mekanijim dodatnim materijalima ili tanjim žicama. Zaštitni plinovi koji se koriste kod ovog postupka štite rastaljeni metal od utjecaja okolne atmosfere, a dovode se na mjesto zavarivanja kroz posebnu sapnicu na pištolju, koja se nalazi oko kontaktne cjevčice. Ionizacijom plina osigurava se vodljivi prostor za održavanje električnog luka. Kod zavarivanja nelegiranih čelika MAG postupkom dolazi do reakcije između CO_2 i rastaljenog metala. CO_2 je inertan pri nižim temperaturama, ali se iznad $1600^{\circ}C$ disocira u ugljični monoksid CO i

slobodni kisik koji tada reagira s rastaljenim metalom. Može doći i do ponovnog vezanja u molekulu CO_2 čime se oslobađa toplina, a posljedica je veće provarivanje. Štetno djelovanje oksida pri zavarivanju konstrukcijskih čelika može se uspješno spriječiti legiranjem dodatnog materijala s Mn i Si. [8]

Prednosti MAG postupka :

- primjenjiv za zavarivanje svih vrsta materijala
- velika mogućnost izbora parametara i načina prijenosa materijala
- mogućnost primjene različitih plinskih mješavina
- mogućnost primjene praškom punjene žice
- široki raspon debljina
- pogodan za automatizaciju

Nedostaci MAG postupka :

- kod rada na terenu moguće greške zbog loše zaštite-vjetar!
- problemi kod dovođenja žice
- veći broj grešaka uslijed neodgovarajuće tehnike rada i parametara zavarivanja
- štrcanje kod zavarivanja kratkim spojevima
- složeniji uređaji (dovođenje žice, automatska regulacija)

3.2. PRIJENOS METALA PRI ZAVARIVANJU

Prilikom zavarivanja postoje dva osnovna načina prijenosa dodatnog materijala do radnog komada. Materijal se može prenijeti slobodnim letom kapljica ili premošćivanjem. Zbog specifičnosti pojava i duljine električnog luka moguće je razlučiti kod prijenosa metala premošćivanjem prijenos metala kratkim spojem i prijenos metala mješovitim lukom, a kod prijenosa slobodnim letom kapljice moguće je razlučiti štrcajući luk i impulsni luk. [8]

Prijenos metala kratkim spojem - u početku se žica nalazi na nekoj udaljenosti od radnog komada i kad dotakne radni komad dolazi do kratkog spoja. Zbog kratkog spoja napon pada na nulu, a struja počinje eksponencijalno rasti. Brzina rasta ograničena je induktivnim otporima kruga. Obzirom da u strujnom krugu otpor ipak ima konačnu vrijednost, napon polagano raste zbog povećanja otpora. Do povećanja otpora dolazi zbog toga što povećanjem struje dolazi do pojačanog zagrijavanja vrha žice, a s povećanjem struje povećava se i "pinch – efekt". On dovodi do smanjenja presjeka žice i konačno do otkidanja zagrijanog vrha žice. Time se kratki spoj prekida i dolazi do električnog luka. Broj ovakvih ciklusa u jednoj sekundi varira u ovisnosti o promjeru žice i nametnutih prametara.

Prijenos metala štrcajućim lukom - Za ovaj način prijenosa karakteristično je da se prijenos metala s vrha žice vrši slobodnim letom malih kapljica kroz atmosferu luka. Niti u jednom trenutku u vremenu održavanja luka žica ne dolazi u dodir s osnovnim materijalom. To znači da sile koje djeluju u električnom luku otkidaju kapi i usmjeruju ih prema radnom komadu prije nego vrh žice može dodirnuti radni komad. Da bi se ostvario ovakav način prijenosa potrebna je velika energija. Potrebno je ostvariti velike sile i zagrijavanjem ili na neki drugi način smanjiti sile površinske napetosti koje utječu na veličinu kapljice metala.

Prijenos metala mješovitim lukom - kod prijenosa metala mješovitim lukom pojavljuje se prijenos štrcajućim lukom, ali se povremeno pojavi jedan ili više kratkih spojeva. Nedostatak takvog načina prijenosa je njegova neregularnost, to jest pojava kratkih spojeva je slučajna što izaziva nepredvidivo štrcanje materijala, pa se parametri koji daju ovakav način prijenosa izbjegavaju.

Prijenos metala impulsnim lukom - budući da se inače poželjan način prijenosa metala u malim kapljicama ostvaruje tek iznad određenog kritičnog praga odnosno vrijednosti kritične struje razvijen je način impulsnog prijenosa materijala. Kod ovog načina, prosječna struja zavarivanja, manja je od kritične vrijednosti struje koja bi dala nepovoljan i neprihvatljiv prijenos u grubim kapima, modulira se jačom strujom određene frekvencije, tako da struja varira između neke minimalne vrijednosti nazvane osnovna struja i maksimalne vrijednosti nazvane vršnom strujom. Pri tome osnovna struja ima zadatak da održava električni luk, dok je visina i duljina trajanja impulsa vršne struje prilagođena da se premaši kritična vrijednost struje i osigura odvajanje po jedne kapi po svakom impulsu. Ovisno o načinu proizvodnje impulsa oni mogu biti sinusoidalnog, trokutastog ili četvrtastog oblika. Najjednostavnije je proizvesti impulse sinusoidalnog oblika, ali za upravljanje procesom prijenosa materijala povoljniji je četvrtasti oblik. Kod ovog načina zavarivanja podešavanje parametara je prilično složeno jer treba uskladiti 5 parametara, a to su veličina osnovne struje, veličina vršne struje, trajanje bazne struje, trajanje vršne struje, brzinu dobave žice. Izbor parametara danas vrše elektronički programirani uređaji koji za jednu izabranu vodeću veličinu biraju optimalnu kombinaciju ostalih parametara, sinergijski izvori. Impulsni način prijenosa zadržava prednosti, a otklanja poteškoće koje ima štrcajući luk, to jest moguće je primjeniti ga u svim položajima, te za materijale osjetljive na količinu unesene topline. Nadalje, jednim promjerom žice moguće je zavariti širi raspon debljina materijala jer je i za deblje žice moguće namjestiti male prosječne struje potrebne kod zavarivanja tanjih limova. [8]

3.3. PLINOVI ZA MAG ZAVARIVANJE

Mjesto zavarivanja i kapljice rastaljenog metala za vrijeme leta kroz električni luk i talina moraju se zaštititi od djelovanja okolne atmosfere. Ta zaštita se uspješno može izvesti pomoću odgovarajućih zaštitnih plinova. Poznavanje utjecaja zaštitnih plinova je neophodno da bi se moglo ocijeniti njihovo djelovanje. Utjecaj zaštitnih plinova odražava se na električko – fizikalna svojstva električnog luka i time na prijenos metala s elektrode na radni komad, metalurške procese u talini i tehnološke parametre. Specifična gustoća zaštitnog plina ima veliki značaj za efikasnost zaštite mjesta zavarivanja od utjecaja okolne atmosfere. Ako se usporede najčešće upotrebljavani plinovi, može se uočiti da argon, koji je najgušći inertni plin, te CO_2 , koji je za 1/3 gušći od argona oblikuju dobar zaštitni omotač. Toplinska vodljivost plinske atmosfere utječe na radijalne gubitke topline što utječe na oblik jezgre luka i njegovu geometriju. Argon ima nisku toplinsku vodljivost i prema tome širu jezgru luka, za razliku od CO_2 koji ima veću toplinsku vodljivost i prema tome širu jezgru luka. Ovo svojstvo, nadalje odražava se i na oblik penetracije u osnovnom metalu. Proces ionizacije, disocijacije i rekombinacije u plinskoj atmosferi utječu na svojstva električnog luka. Utjecaj ovisi o sustavu zaštitni plin – žica dodatnog materijala. Kod MAG postupka zavarivanja plinska plazma se kontaminira metalnim parama, ovisno o temperaturi ključanja i latentnoj temperaturi taljenja dotičnih materijala, koji se razmjerno lako ioniziraju i postaju u tom slučaju osnovni nosioci naboja. Time se bitno mijenjaju karakteristike električnog luka. Dvoatomni plinovi zahtijevaju više dovedene energije da se ioniziraju, čime postaju provodljivi za struju. No, pri rekombinaciji kada ionizirani plin u dodiru s hladnijim osnovnim metalom vraća apsorbiranu energiju, zagrijavanje radnog komada je efikasnije nego s ioniziranim inertnim plinom. Utjecaj plinova na metalurške reakcije s rastaljenim metalom uglavnom ovisi o vrsti plina ili količini pojedinih plinova u plinskoj mješavini. Može se reći da djelovanje zaštitnog plina ili mješavine plinova na rastaljeni metal može biti neutralno, oksidirajuće ili reducirajuće. [8]

Pri MAG zavarivanju za stvaranje zaštitne atmosfere koriste se mješavine inertnog plina – argona i aktivnog plina – CO_2 ili O_2 ili njihove kombinacije. MAG zavarivanje jedan je od prevladavajućih postupaka zavarivanja čeličnih konstrukcija. Ovom se tehnikom postižu visoki učinci i rabi se u svim položajima.

Razni zaštitni plinovi koji se rabe u tehnici zavarivanja imaju kod primjene različit karakterističan utjecaj na parametre. [9]

Karakteristike pojedinih plinova koji se koriste kod MAG zavarivanja prikazane su u tablici 1.

Tablica 1 -Karakteristike plinova pri MAG zavarivanju [10]

Argon (Ar)	inertan plin
	veća gustoća od zraka
	lako se ionizira
	omogućuje prijenos materijala manjim kapljicama
	osigurava ravan zavar
	smanjuje štrcanje
Kisik (O_2)	aktivan plin
	omogućuje stabilan električni luk
	teško se ionizira
	omogućuje širi prenos kapljica
	smanjuje površinsku napetost i štrcanje
	poboljšava penetraciju
Ugljični dioksid (CO_2)	aktivan plin
	omogućuje stabilan električni luk
	lako se ionizira
	disocijacijom CO_2 povećava se volumen plina i dobro štiti talinu
	ponovnim spajanjem u CO_2 oslobađa dodatnu toplinu
	daje uži zavar
	bolju penetraciju
	ima tendenciju štrcanja

Za MAG zavarivanje niskolegiranih i nelegiranih ugljičnih čelika najviše se koriste dvokomponentne mješavine argona i CO_2 i argona i O_2 , i trokomponentne mješavine Ar, CO_2 i O_2 . Najčešće su dvokomponentne komercijalne mješavine argona i do 18% CO_2 odnosno do 9% O_2 . Trokomponentne komercijalne mješavine sadrže do 12% CO_2 i do 6% O_2 kao dodatak argonu. Tijekom zavarivanja, zbog različitih fizikalnih i kemijskih svojstava zaštitnih plinova, javljaju se razlike u geometriji zavara prikazano u tablici 2. [9]

Tablica 2 - Eksperimentalni prikaz utjecaja zaštitnog plina na geometriju zavara [9]

Eksperiment	Plinska mješavina	Dubina penetracije [mm]	Površina poprečnog presjeka zavara [mm^2]
1	Ar + 6% CO_2	4,715	20,054
2	Ar + 9% CO_2	4,780	24,372
3	Ar + 12% CO_2	4,812	28,101
4	Ar + 18% CO_2	4,895	38,621
5	Ar + 6% O_2	4,451	20,338
6	Ar + 6% O_2	4,554	24,189
7	Ar + 6% O_2	4,631	25,198
8	Ar + 6% O_2	4,673	25,718
9	Ar + 6% CO_2 + 12% O_2	4,694	26,255
10	Ar + 9% CO_2 + 8% O_2	4,693	26,933
11	Ar + 12% CO_2 + 6% O_2	4,772	29,518
12	Ar + 6% CO_2 + 6% O_2	4,523	26,214
13	Ar + 3% CO_2 + 3% O_2	4,472	21,663
14	Ar + 12% CO_2 + 3% O_2	4,612	31,101
15	Ar + 3% CO_2 + 12% O_2	4,650	25,443

Kod MAG zavarivanja dobro provarivanje i prijenos dodatnog materijala omogućuju aktivni dodaci u plinskoj mješavini s osnovnim plinom argonom. Aktivne komponente plinskih mješavina za zavarivanje niskolegiranih i nelegiranih čelika su kisik i ugljični dioksid. Kisik je odlučujuća aktivna komponenta kod MAG zavarivanja te je u argonskoj plinskoj mješavini direktno dodan kao aktivna plinska komponenta ili je vezan kemijski u obliku molekule CO_2 . U električnom luku tijekom reakcije izgaranja mjerodavan je udio dislociranog kisika u atomskom obliku. U tablici 3 prikazani su zaštitni plinovi koji se koriste kod MAG zavarivanja niskolegiranih i visokolegiranih čelika. [11]

Tablica 3 - Zaštitni plinovi za MAG zavarivanje niskolegiranih čelika [11]

Vrsta plina	Grupa prema	Sastav s volumenskim postocima	Primjena
Ferromix C8	M 21	92%Ar 8% CO_2	Niskolegirano**
Ferromix C18	M 21	82%Ar 18% CO_2	Niskolegirano**
Ferromix X4	M 22	96%Ar 4% O_2	Niskolegirano/visokolegirano**
Ferromix X8	M 22	92%Ar 8% O_2	Niskolegirano**
Ferromix C5 X8	M 23	90%Ar 5% CO_2 5% O_2	Niskolegirano*
Ferromix C15 X5	M 24	80%Ar 15% CO_2 5% O_2	Niskolegirano*
Ferromix He20 C8	M 21	72%Ar 8% CO_2 20%He	Niskolegirano**
Tehn. CO_2	1	100% CO_2	Niskolegirano

*pogodno za impulsno zavarivanje

** vrlo pogodno za impulsno zavarivanje

Tablica 4 - Usporedba gubitaka štrcanja pri MAG zavarivanju s različitim zaštitnim plinovima [11]

Zaštitni plin	Struja zavarivanja	
	270A	290A
100% CO_2	8,0%	6,8%
Ar + 18% CO_2	3,7%	1,9%
Ar + 5% O_2 + 15% CO_2	2,7%	1,8%
Ar + 8% CO_2	1,1%	0,8%
Ar + 4% O_2	0,9%	0,6%

U tablici 4 prikazani su postoci štrcanja pri upotrebi različitih zaštitnih plinova. Kod prosječne zavarene konstrukcije sam trošak zaštitnog plina ne mora biti i često nije presudan faktor koji određuje cijenu konstrukcije, već je mnogo značajniji utjecaj upotrebe zaštitnog plina na brzinu zavarivanja i smanjenje troškova naknadne obrade, dakle na ukupan trošak zavarivanja.

3.4. VRSTE ŽICA KOD MAG ZAVARIVANJA

Kod MAG zavarivanja najčešće se koriste pune žice promjera od 0,6 do 2,4 mm. Žice od čeličnog materijala su pobakrene ili poniklane radi boljeg električnog kontakta i zaštite od korozije. Površina žice mora biti glatka, dimenzija vrlo točna i mora biti uredno namotana na kolutove koji se postavljaju u uređaj za dodavanje žice. Osim punih žica koriste se i praškom punjene žice. Takve žice mogu imati raznovrsne poprečne presjeke, ovisno o načinu proizvodnje. Praškom punjene žice se koriste uz plinsku zaštitu, a postoje i žice koje same stvaraju zaštitnu atmosferu raspadanjem jezgre pa se ne zahtijeva dodatna zaštita plinom. [8]

Vrste žica [12]:

EZ – SG2 - Pobakrena žica za zavarivanje u zaštitnoj atmosferi plina CO_2 ili mješavine plinova Ar/CO_2 . Namijenjena je za zavarivanje nelegiranih i niskolegiranih čelika čvrstoće do 590 N/mm².

EZ – SG3 - Pobakrena i nepobakrena žica za zavarivanje u zaštitnoj atmosferi CO_2 ili mješavine plinova Ar/CO_2 . Namijenjena je za zavarivanje nelegiranih i niskolegiranih čelika čvrstoće do 640 N/mm².

KC – 28 - Pobakrena žica za zavarivanje u zaštitnoj atmosferi plina CO_2 ili mješavine plinova Ar/CO_2 . Namijenjena je za zavarivanje nelegiranih i niskolegiranih čelika čvrstoće do 590 N/mm².

EZ – SG2, EZ – SG3 i KC – 28 su žice koje se koriste za niskolegirane i nelegirane materijale. U tablici 4 prikazan je kemijski sastav pojedinih vrsta žica za MAG zavarivanje.

Tablica 5 - Kemijski sastav u postotcima određenih vrsta žica za MAG zavarivanje [12]

naziv	%C	%Mn	%Si	%Cu
EZ – SG2	0,06 - 0,13	1,3 - 1,6	0,7 - 1,0	≤ 0,3
EZ – SG3	0,08 - 0,12	1,6 - 1,8	0,9 - 1,1	≤ 0,3
KC – 28	0,07	1,53	0,86	≤ 0,3

4. EKSPERIMENTALNI RAD

4.1. UVOD U EKSPERIMENT

Eksperimentalni rad proveden je u svrhu postizanja veće brzine zavarivanja snježnog pluga Mosor – PK prikazanog na slici 9. Zbog velike potražnje na tržištu potrebno je povećati proizvodnost snježnih plugova. Jedna od najduljih operacija u proizvodnji snježnih plugova je zavarivanje. Povećanjem brzine zavarivanja direktno bi se povećala proizvodnost. Povećanjem brzine zavarivanja potrebno je promijeniti i ostale parametre zavarivanja koji su u radu određeni na eksperimentalni način.



Slika 9 – Snježni plug “Mosor - PK” [13]

4.2. OPIS EKSPERIMENTA

Iz tvrtke Rasco d.o.o. dobiveni su uzorci kritičnog mjesta na snježnom plugu Mosor – PK. Kritično mjesto na kojem je napravljen uzorak prikazano je na slici 10.



Slika 10 - Prikaz ispitivanog mjesta

Eksperimentom je bio cilj dobiti parametre kojima bi se postigla 30% veća brzina zavarivanja. Variranjem parametara izrađena su četiri uzorka, nakon kojih je postignut zavareni spoj karakteristike (visine nadvišenja) kao uzorak dobiven iz Rasco – a. Na dobivenim uzorcima izvršena je vizualna kontrola i kontrola debljine zavora.

4.2. ZAVARIVANJE UZORAKA

4.2.1. Zavarivanje uzorka u Rasco - u

Uzorak zavaren u Rasco - u zavaren je pomoću robota Motoman EA1900N i upravljačkog uređaj NX100 prikazanog na slici 11. Izvor struje korišten za zavarivanje u Rasco - u (prikazan na slici 12) je Fronius TPS 5000, 3A/14,2V – 500A/39V.



*Slika 11 - Prikaz robota
Motoman EA1900N*



*Slika 12 - Izvor struje
Fronius TPS 5000*

Dodatni materijal korišten u Rasco - u je žica KC - 28 1,0mm kemijskog sastava prikazanog u tablici 6.

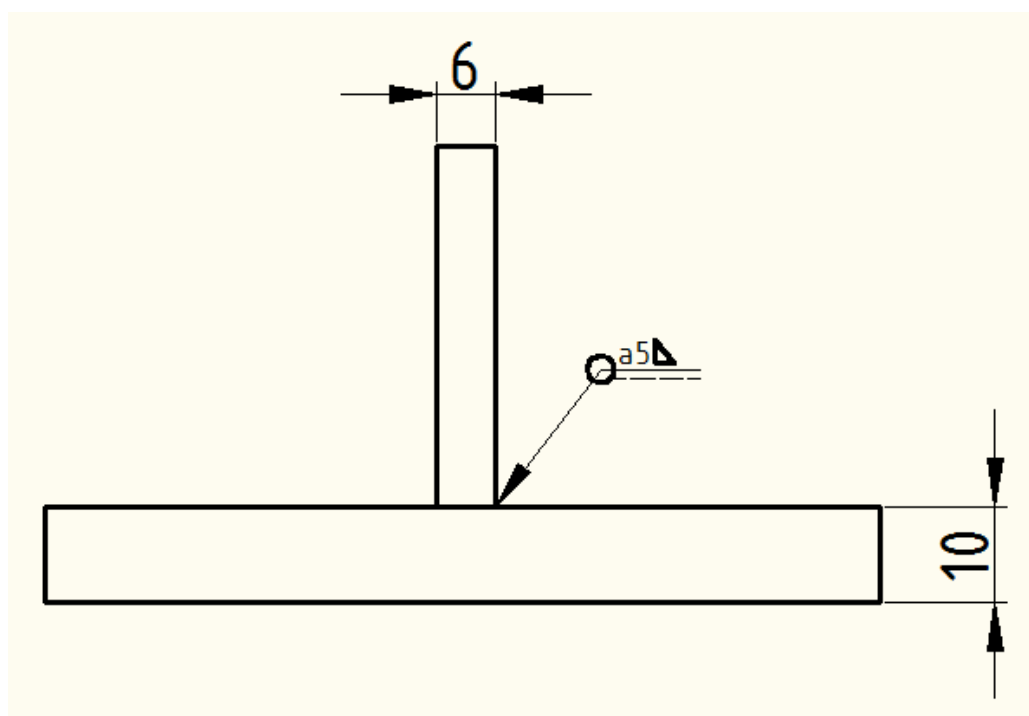
Tablica 6 - Prikaz kemijskog sastava žice KC – 28 [12]

naziv	%C	%Mn	%Si	%Cu
KC – 28	0,07	1,53	0,86	≤ 0,3

Zaštitni plin korišten u Rasco - u je Messer Ferroline C18 ISO 14175 – M21 – ArC – 18.

Osnovni materijal korišten u Rasco – u je čelik S355J2 + N, a njegov garantirani kemijski sastav prikazan je na slici 14.

Na slici 13 prikazane su debljine zavarivanih ploča te potrebna visina kutnog zavora kod zavarivanja u tvrtci Rasco d.o.o.



Slika 13 – Prikaz debljine zavarivanih ploča u Rasco - u

ISD DUNA-FERR

CONFORMITY STATEMENT OF PRODUCER

ISO 9001

Page 2 (2)

Modification 0	AGS Submission No.: 00271424621000003
----------------	---------------------------------------

[illegible][illegible]

Code according to ICD 10/ICD 11: 2006

The sample is a quadrifurc cross-section taken from sheet in every case

C01 Sample taken from 4: 30 p.m. at col. 8 : sec. at col. 7 = middle of col. 8 + 0.5 m

C02 Direction of samples: 1 = L = longitudinal, 4 = T = trans., 5 = Z = diagonal

Cold Storage of Samples: 1 = not, 2 = preserved, 3 = normalised

D01 Marking and identification, surface properties, shape and dimension properties
Marking and identification, control of surface properties, form and measure pr

201 The product complies with the contract requirements

D51 Supplementary Information

2. $1 \text{ Nm/m}^2 = 1 \text{ kPa}$

Alle
München, 18. März 1971
Herrn Dr. R. R. R. R. R.
München, 18. März 1971
Gutachten Nr. 1871
879.


Zoltán Szendrői,
Department of Mathematics,
Műegyetem Róbert Károlyi
Áltudományi Egyetem
Mathematical Sciences
Eötvös Loránd University
H-1067 Budapest
Hungary
szendroi@matinf.elte.hu

Slika 14 - Atest materijala S355J2 + N

Zavarivanje uzorka u Rasco – u :

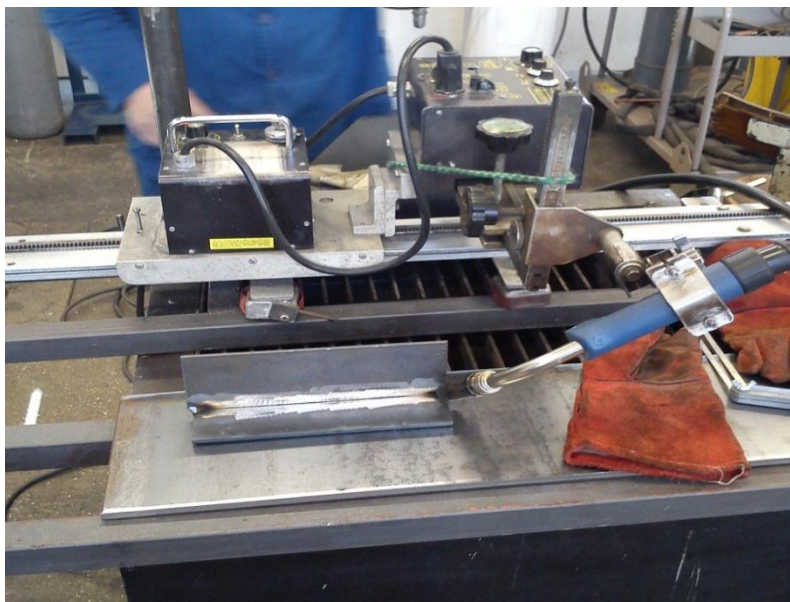
Uzorak zavaren u Rasco – u prikazan je na slici 15, a parametri zavarivanja u tablici 7.

Tablica 7 - Parametri zavarivanja snježnih plugova

Brzina zavarivanja [v_z]	30 cm/min
Jakost struje zavarivanja [I_z]	180 A
Napon zavarivanja [U_z]	25 V
Brzina dobave žice [$v_{\dot{z}}$]	9,5 m/min
Tehnika rada	lijeva
Vrsta prijenosa materijala	Impulsni luk
Protok plina	16 l/min
Slobodni kraj žice	17 mm
Nagib pištolja	15°
	
Slika 15 - Prikaz uzorka zavarenog u Rasco - u	

4.2.2. Zavarivanje uzoraka u Laboratoriju

Prije zavarivanja grubim brušenjem očišćena je površina na kojoj će se kasnije zavarivati. Uzorci su u Laboratoriju za zavarene konstrukcije FSB – a, Zagreb zavareni pomoću automata za zavarivanje Bugo prikazanog na slici 16.



Slika 16 - Automat za zavarivanje Bugo

Izvor struje korišten za zavarivanje u Laboratoriju (prikazan na slici 17) je Varstroj VPS 4000, 30A/15,5V – 400A/34V



Slika 17 - Izvor struje Varstroj VPS 4000

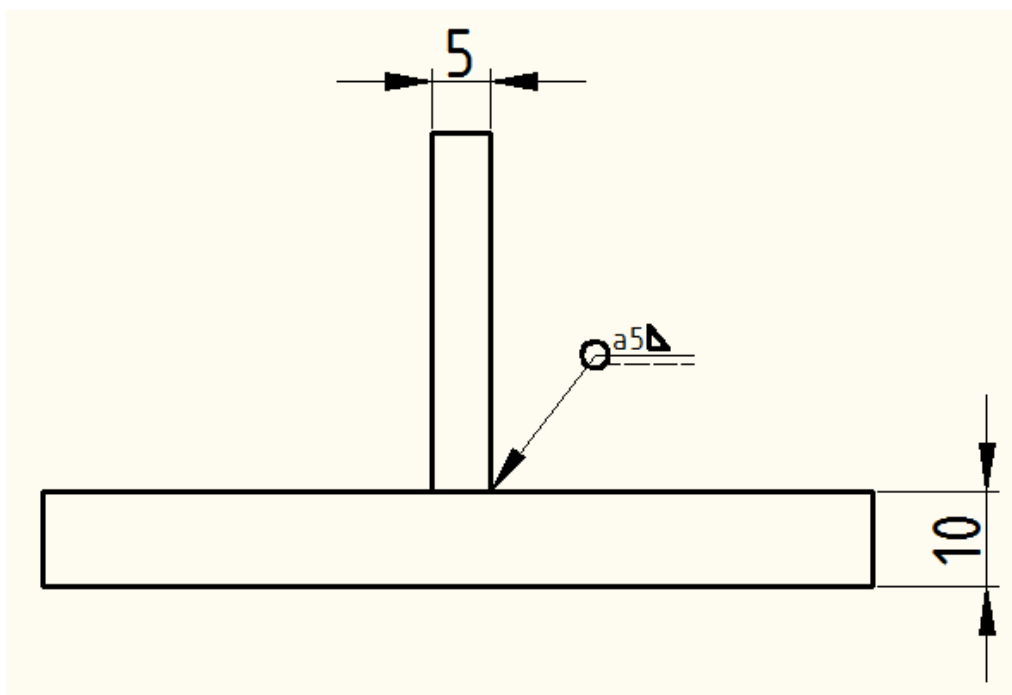
Dodatni materijal korišten u Laboratoriju je žica EZ SG2 1,2mm kemijskog sastava prikazanog u tablici 8.

Tablica 8 - Prikaz kemijskog sastava žice EZ SG2 [12]

naziv	%C	%Mn	%Si	%Cu
EZ – SG2	0,06 - 0,13	1,3 - 1,6	0,7 - 1,0	≤ 0,3

Zaštitni plin korišten u laboratoriju je Messer Ferroline C18 ISO 14175 – M21 – ArC – 18.

Na slici 18 prikazane su debljine zavarivanih ploča te potrebna visina kutnog zavora kod zavarivanja u Laboratoriju.



Slika 18 – Prikaz debljine zavarivanih ploča u Laboratoriju

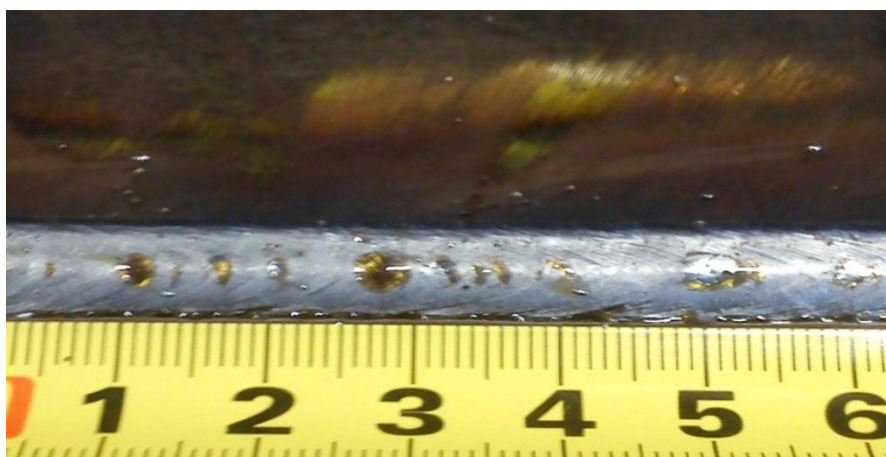
U tablici 9 prikazani su parametri zavarivanja uzoraka u Laboratoriju. Za zavarivanje svih uzoraka korišten je impulsni režim rada.

Tablica 9 - Prikaz parametara zavarivanja uzoraka u Laboratoriju

Uzorak broj	1	2	3	4
Brzina zavarivanja [v_z]	40 cm/min	40 cm/min	40 cm/min	40 cm/min
Jakost struje zavarivanja [I_z]	200 A	250 A	300 A	250 A
Napon zavarivanja [U_z]	25 V	28 V	30 V	28V
Brzina dobave žice [$v_{\dot{z}}$]	6,7 m/min	8,6 m/min	10,8 m/min	8,6 m/min
Tehnika rada	lijeva	lijeva	lijeva	neutralna
Protok plina	18,5 l/min	18,5 l/min	18,5 l/min	18,5 l/min
Slobodni kraj žice	17 mm	17 mm	17 mm	17 mm
Nagib pištolja	15°	15°	15°	0°

Zavarivanje uzorka broj 1:

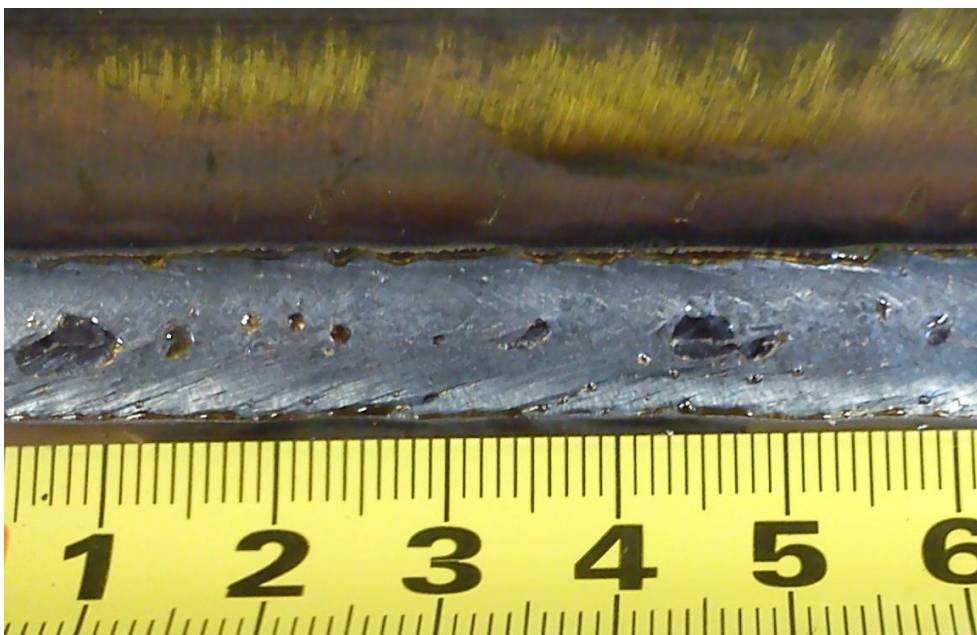
Uzorak broj 1 prvi je uzorak zavarivan brzinom zavarivanja od 40 cm/min. Nakon zavarivanja s parametrima prikazanim u tablici 9 izvršeno je mjerenje debljine zavora. Mjerenje je vršeno mjerilom za vizualnu kontrolu nadvišenje zavora s tri mjerne skale i izmjerena je debljina zavora od 4,5 mm. Također je izmjerena debljina zavora na uzorku dobivenom iz Rasco – a i ono je iznosilo 5 mm. Zbog toga je odlučeno zavariti drugi uzorak s drugim parametrima u svrhu dobivanja veće debljine zavora. Izgled zavora prvog uzorka prikazan je na slici 19.



Slika 19 - Izgled zavora uzorka 1

Zavarivanje uzorka broj 2 :

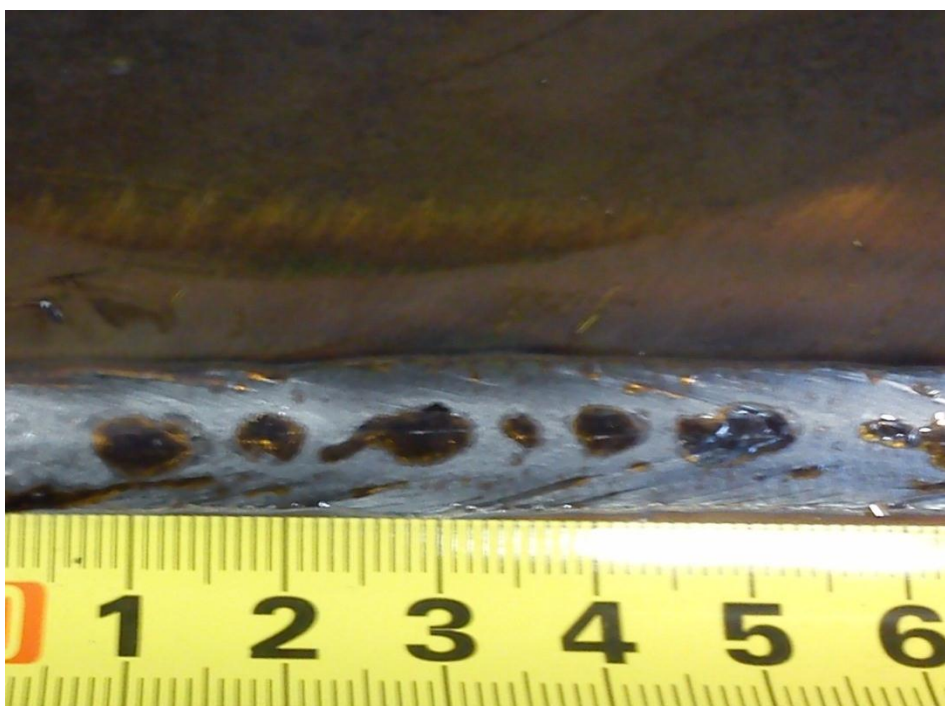
U svrhu postizanja veće debljine zavora odlučeno je drugi uzorak zavariti s većom strujom zavarivanja odnosno većom brzinom dobave žice. Parametri zavarivanja vidljivi su u tablici 9. Izmjereno nadvišenje iznosilo je 5 mm što je zadovoljavajuće, ali odlučeno je napraviti još jedan uzorak s još većom strujom da se vidi ponašanje taline pri većim strujama i mogućnost još većeg povećanja brzine zavarivanja. Zavar drugog uzorka prikazan je na slici 20.



Slika 20 - Izgled zavora uzorka 2

Zavarivanje uzorka broj 3:

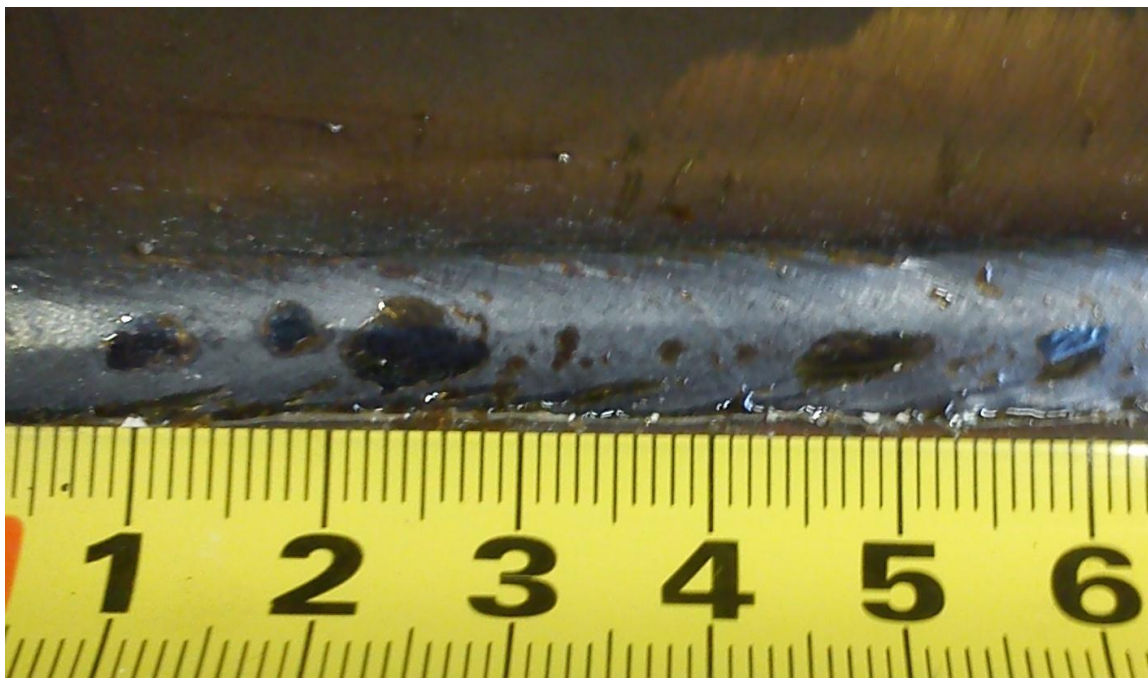
Zbog uvida u ponašanje žice promjera 1,2 mm na jakosti struje 300 A provedeno je zavarivanje trećeg uzorka. Svi ostali parametri zavarivanja trećeg uzorka prikazani su u tablici 9. Na dobivenom zavaru prikazanom na slici 21 došlo je do prevelikog nalijevanja na donju ploču zbog prevelike količine taline. Kada je utvrđeno da zavar uzorka broj 3 ne zadovoljava odlučeno je smanjiti struju na struju korištenu pri zavarivanju uzorka broj 2, ali promijeniti tehniku rada.



Slika 21 - Prikaz zavora uzorka 3

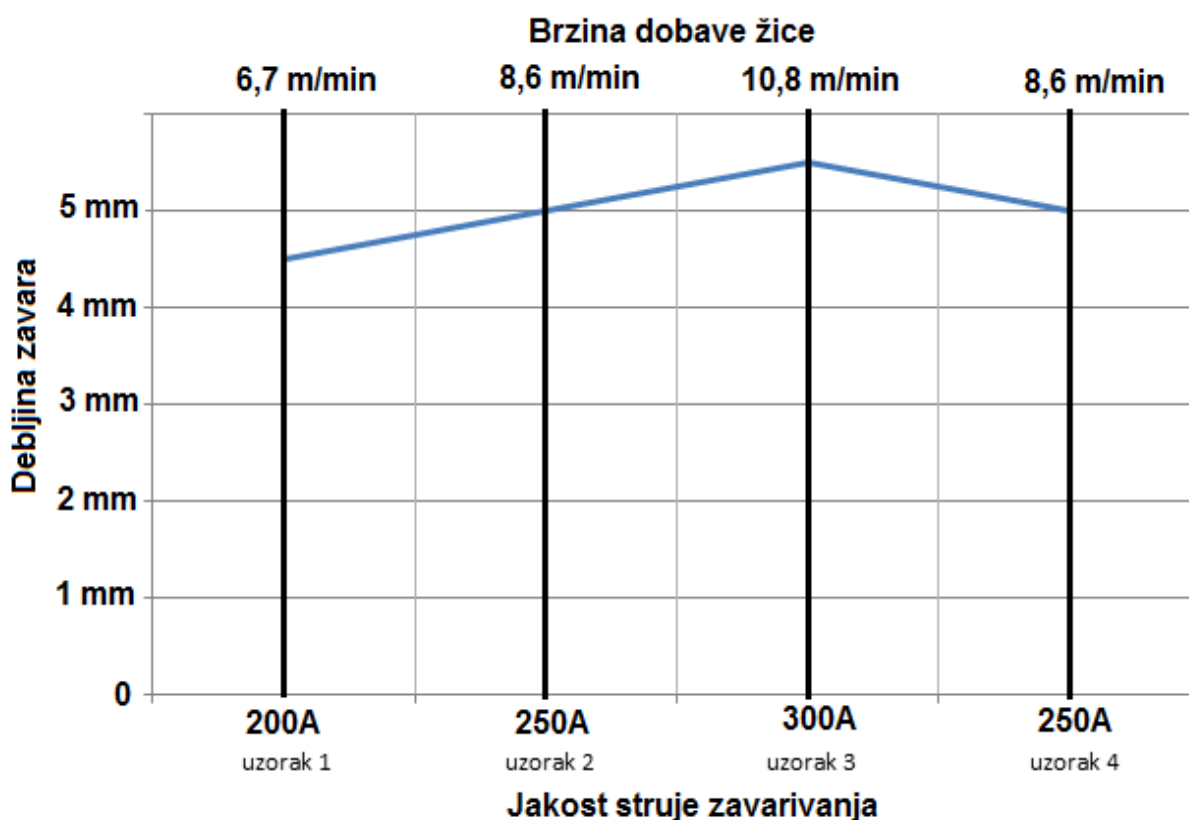
Zavarivanje uzorka broj 4:

Uzorak broj 4 zavaren je neutralnom tehnikom rada dok su prethodni uzorci bili zavarivani lijevom. Parametri zavarivanja četvrtog uzorka prikazani u tablici 9. Mjerenjem debljine zavara izmjereno je 5 mm što je zadovoljavajuće, ali vizualni izgled zavara je zbog korištenja neutralne tehnike rada neravan. Prikaz zavara uzorka broj 4 prikazan je na slici 22.



Slika 22 - Prikaz zavara uzorka 4

Na slici 23 prikazana je ovisnost jačine struje, odnosno brzine dobave žice o debljini zavarenog spoja.



Slika 23 – Ovisnost debljine zavora o jakosti struje

Iz slike 23 jasno je vidljivo da debljina zavora direktno ovisi o jakosti struje zavarivanja, a s obzirom na to da se radi o zavarivanju impulsnim lukom i korištenju sinergijskih izvora struje koji zadavanjem određene jakosti struje automatski zadavaju i brzinu dobave žice možemo reći također da debljina zavora direktno ovisi i o brzini dobave žice. Također se iz slike može vidjeti da za korištenu žicu debljine 1,2 mm povećanje struje za 50A rezultira povećanjem debljine zavora od 0,5 mm uz istu brzinu zavarivanja.

4.3. IZRADA MAKRO IZBRUSAKA

Nakon zavarivanja potrebno je pripremiti uzorke za izradu makro izbrusaka. Za početak je bilo potrebno zavarene uzorke skratiti na manje dimenzije što je napravljeno tehnologijom plinskog rezanja prikazanog na slici 24. Nakon toga, uzorak je pomoću kružne pile izrezan na konačne dimenzije makro izbruska. Na slici 25 prikazano je razanje uzorka na kružnoj pili.



Slika 24 - Prikaz plinskog rezanja uzorka



Slika 25 - Prikaz rezanja na kružnoj pili

Dobiveni grubo izrađeni makro izbrusak dalje se fino obrađuje. Prvo se izbrusi grubom brusnom pločom na stupnoj brusilici prikazanoj na slici 26.



Slika 26 - Prikaz brušenja na stupnoj brusilici

Nakon grube brusne ploče prelazi se na fino brušenje pomoću brusnog papira granulacije 80 na rotacijskoj samostojećoj brusilici prikazano na slici 27.



Slika 27 - Prikaz brušenja na rotacijskoj samostojećoj brusilici

Nakon obrade s grubim brusnim papirom prelazi se na sve finije i brusi se ručno. Granulacije kojima su obrađivani uzorci ručno su redom 280, 400 i za krajnju finu obradu 600. Korišteni brusni papiri prikazani su na slici 28.



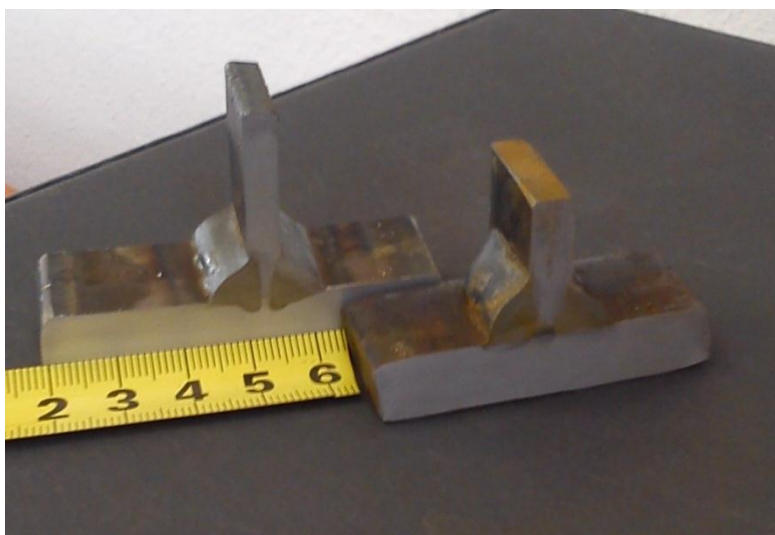
Slika 28 - Prikaz brusnih papira za ručnu obradu

Nakon što je pomoću najfinijeg brusnog papira dobivena glatka površina poprečnog presjeka zavara ista se mora nagristi u 5% HNO_3 i 95% metanola. Ta otopina naziva se "Nital". Nagrizanje materijala vrši se na način da se materijal uroni u otopinu i u njoj se drži određeno vrijeme (prikazano na slici 29). Nakon nagrizanja površinu je potrebno isprati mlazom vode, isprati alkoholom te osušiti.



Slika 29 - Prikaz uzorka uronjenog u "Nital"

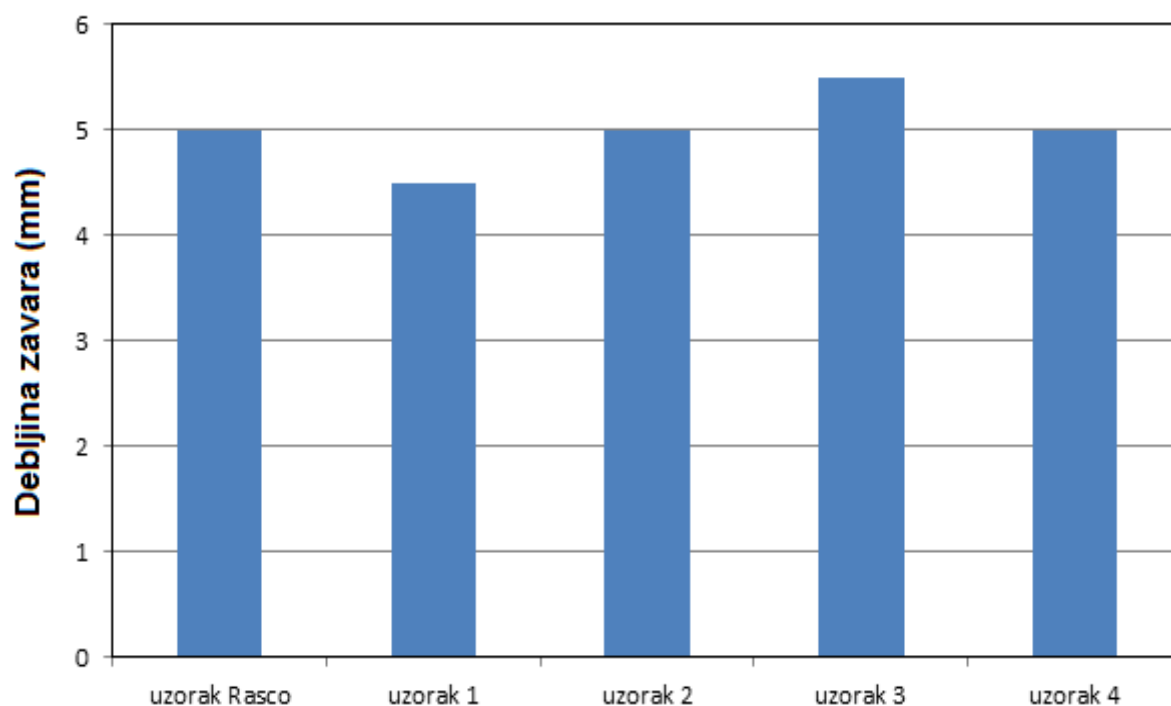
Na tako obrađenim uzorcima dobiva se vidljiva razlika u poprečnom presjeku između dodatnog i osnovnog materijala, te dubina penetracije. Dobiveni makro izbrusci prikazani su na slici 30. Lijevo na slici 30 je uzorak dobiven u Laboratoriju, a desno je uzorak iz Rasco – a.



Slika 30 - Prikaz dobivenih makro izbrusaka

4.4. ANALIZA MAKRO IZBRUSAKA

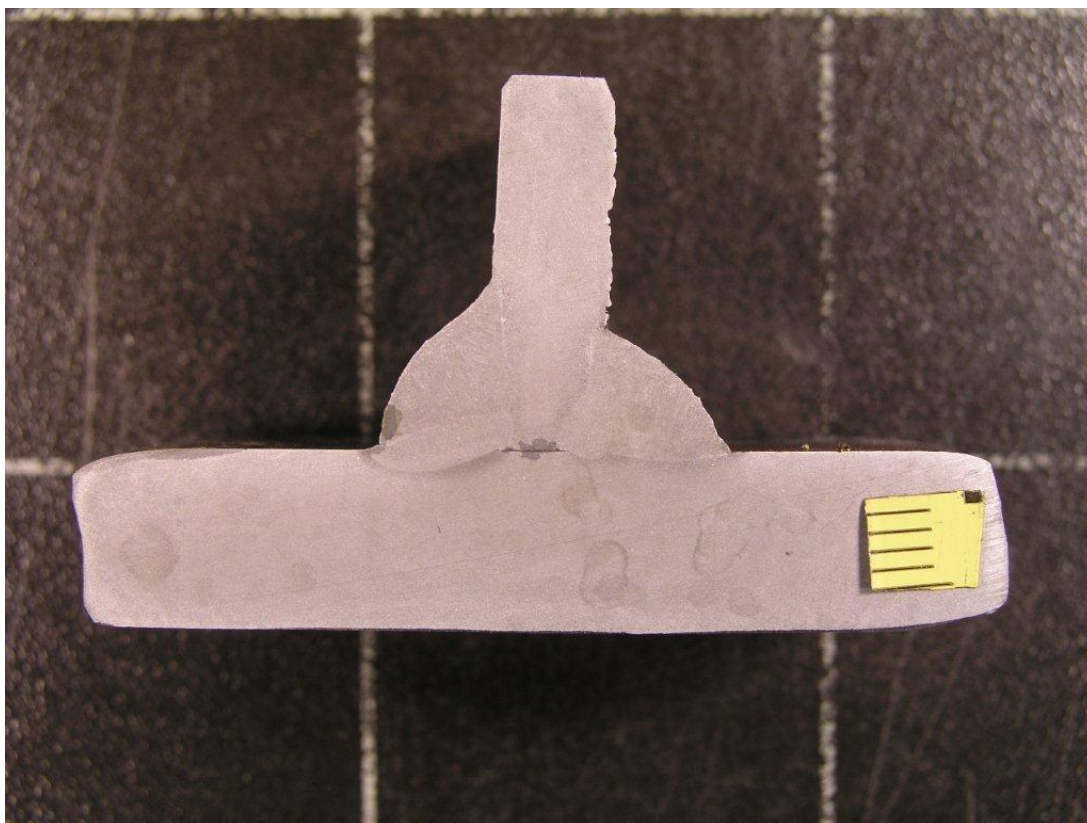
Nakon zavarivanja uzoraka u Laboratoriju bilo je potrebno odrediti od kojeg će se uzorka napraviti makro izbrusak. Odabir je izvršen na temelju rezultata dobivenih mjerenjem debljine zavora i vizualnom kontrolom zavora. Na slici 31 prikazane su debljina zavora pojedinih uzoraka zavaranih u Laboratoriju i uzorka zavarеноg u Rasco – u. Iz slike je jasno vidljivo da s obzirom na debljinu zavora odgovaraju jedino uzorak 2 u uzorak 4 jer oni imaju debljinu zavora istu kao uzorak iz Rasco – a.



Slika 31 - Grafički prikaz debljine zavora uzoraka

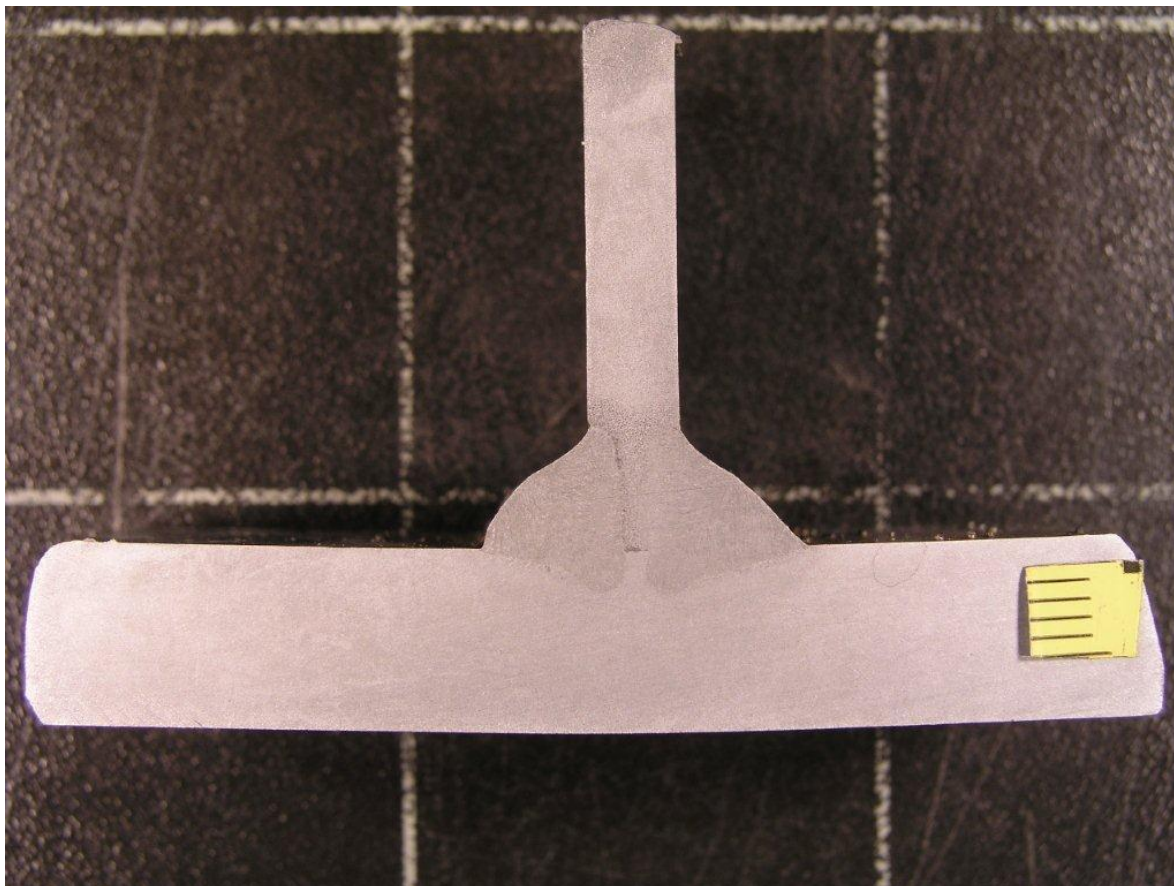
Uzorci 2 i 4 dalje su vizualno kontrolirani i nakon vizualne kontrole ustanovljeno je da je uzorak 2 ravniji i vizualno prihvatljiviji od uzorka 4 koji je zavarен neutralnom tehnikom zavarivanja i zbog toga neravniji. Uzorak 2 kao i svi ostali osim uzorka 4 zavarен je lijevom tehnikom rada za koju je karakteristično da ostavlja uredan i ravan zavar.

Makro izbrusak zavaren u Rasco – u prikazan je na slici 32. Već se na prvi pogled vidi da su lijevi i desni zavar nesimetrični što je nezadovoljavajuće. Također je jasno vidljivo da nema dovoljnog miješanja dodatnog i osnovnog materijala te da je u sredini razmak između ljevog i desnog zavara preširok što je također jako loše.



Slika 32 - Makro izbrusak snježnog pluga

Makro izbrusak uzorka zavarenog u Laboratoriju prikazan na slici 33 je vizualno znatno bolji.

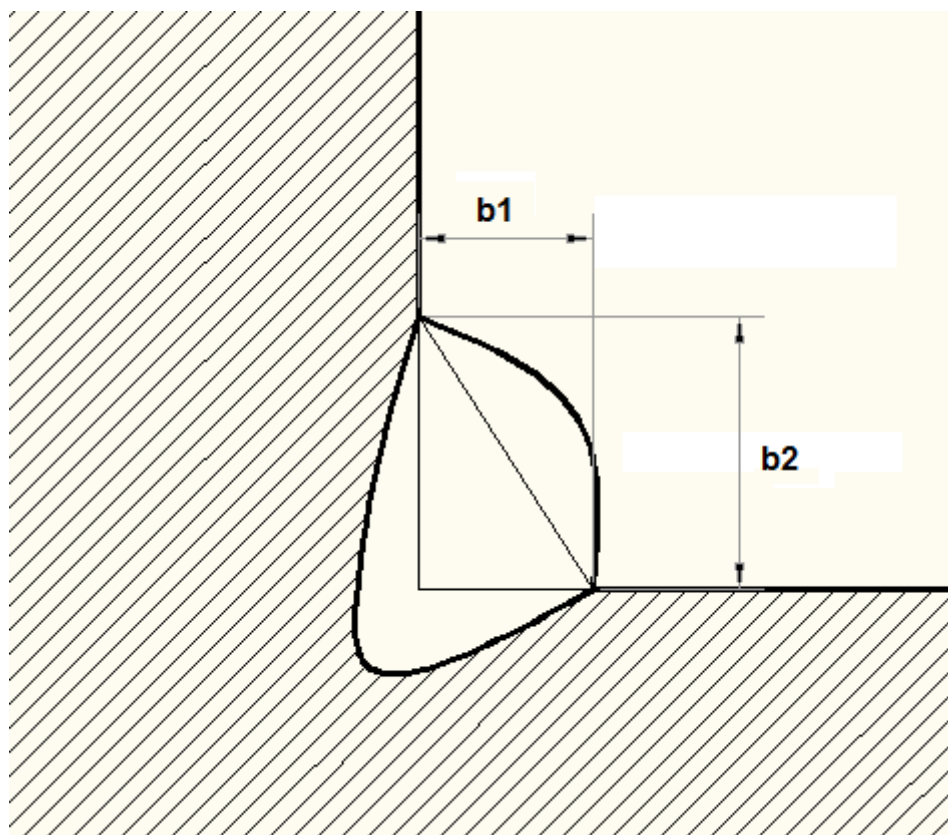


Slika 33 - Makro izbrusak zavaren revidiranom tehnologijom

Iz slike 33 jasno je vidljivo da je kod makro izbruska uzorka zavarenog u Laboratoriju jednolika geometrija zavora i lijeve i desne strane i da je došlo do zadovoljavajućeg miješanja dodatnog i osnovnog materijala. Dubina penetracije oba zavora je veća i razmak u sredini između ljevog i desnog zavora manji je od razmaka kod makro izbruska zavarenog u Rasco – u.

Analiza te ocjenjivanje nepravilnosti zavarenih spojeva određuje se sukladno normi HRN EN ISO 5817. Prema toj normi zavareni kutni spojevi ocjenjuju se s obzirom na ugorine kojih kod analiziranih zavarenih spojeva nema. Drugo ocjenjivanje zavora kutnih spojeva vrši se s obzirom na koveksnost zavarenog spoja. Zbog korištenja lijeve tehnike rada dobiveni zavareni spojevi zavareni i u Laboratoriju i u Rasco - u su vrlo malo konveksni, odnosno nadvišenja zavora su u potpunosti zadovoljavajuća s obzirom na normu. Treće ocjenjivanje zavora kutnih spojeva vrši se s obzirom na simetričnost poprečnog presjeka zavarenog spoja. Naime ako se želi dobiti prihvatljiv

zavareni spoj poprečni presjek zavora mora poprimiti približno oblik jednakostraničnog trokuta.



Slika 34 - Shematski prikaz poprečnog presjeka zavora

Ukoliko kut nagiba pištolja nije približno 45° od ploče gledano u smjeru zavora ne dobije se simetričan kutni zavar se dobije poprečni presjek zavora oblika raznostraničnog trokuta što je vidljivo na slici 34. Na slici 34. vidi se da je duljina katete $b2$ duža od duljine katete $b1$. Uzorci zavarivani u Laboratoriju su simetrični i samim tim prema normi prihvatljivi. Uzorak zavaren u Rasco - u nema simetričan poprečni presjek i prema normi zadovoljava po ocjeni C što je za proizvod kao što je snježni plug prihvatljivo.

Provedenom analizom makro izbrusaka vidljivo je da je analizirani uzorak zavaren u Laboratoriju prihvatljiv i prema normi HRN EN ISO 5817 nema nepravilnosti. Uzorak zavaren u Rasco - u također je prihvatljiv s obzirom na zahtjeve potrebne za snježne plugove, ali prema normi ima nepravilnost zbog koje je zavar spada u grupu C prilikom ocjenjivanja. Uzorak zavaren u Laboratoriju uz veću brzinu zavarivanja ima povoljnija vizualna svojstva i prema normi nema nepravilnosti i samim tim je i prihvatljiviji.

5. ZAKLJUČAK

U svrhu postizanje željene konkurentnosti na tržištu pri izradi snježnih plugova tvrtka Rasco d.o.o. mora u što kraćem roku isporučiti naručenu robu. Da bi proizvodnja tekla što brže odlučeno je uvesti robote u proizvodnju. Proces zavarivanja, najzahtjevniji dio proizvodnje odnosno dio proizvodnje koji vremenski najduže traje, potrebno je bilo robotizirati. Postupak najprikladniji robotiziranju definitivno je MIG/MAG postupak. S obzirom da se radi o zavarivanju nelegiranih niskougličnih čelika kao povoljnije rješenje odabran je MAG postupak. U završnom radu opisana je i optimirana tehnologija zavarivanja dijelova snježnih plugova robotiziranim MAG postupkom tvrtke Rasco d.o.o. U tehnologiji zavarivanja tvrtke Rasco uočene su određene nepravilnosti kao što su nejednolika geometrija kako lijevog i desnog zavara tako i nejednolika geometrija pojedinog zavara do koje je došlo zbog lošeg položaja poštojla prilikom zavarivanja i nedovoljno miješanje dodatnog i osnovnog materijala posebno na donjoj ploči. U Laboratoriju su napravljeni uzorci s 30% većom brzinom zavarivanja primjenom žice promjera 1,2 mm dok se u Rasco – u koristi žica promjera 1mm. Zavarivanje je provedeno primjenom istog zaštitnog plina, ali s drugim parametrima zavarivanja što se kod analize makro uzoraka pokazalo uspješno jer se dobio zavar koji je u potpunosti vizualno prihvatljiv i bez nepravilnosti po normi HRN EN ISO 5817. Preporuka tvrtci Rasco je korištenje žice 1,2 mm uz promijenjene parametre zavarivanja jer se time postiže 30% veća brzina zavarivanja. Također je potrebno napomenuti da se debljina zavara okvirno određuje kao $a = (0,5 - 0,7) \times A$ gdje je a debljina zavara, a A debljine tanje zavarivane ploče. U ovom slučaju se radi o debljini od 6 mm pa bi optimalna debljina zavara bila od 3 do 4,2 mm. Debljina zavara iznosi 5 mm što otvara mogućnost još većeg povećanja brzine zavarivanja u ostale nepromijenjene parametre.

6. LITERATURA

- [1] <http://www.sfsb.unios.hr/kth/zavar/tii/povije.html> - dostupno 02.01.2013.
- [2] T. Šurina, M. Crneković, *Industrijski roboti*, školska knjiga, Zagreb, 1990.
- [3] <http://www.robots-and-androids.com/images/GM-Unimate-1950.jpg> - dostupno 02.01.2013. slika 2
- [4] http://people.etf.unsa.ba/~jvelagic/laras/dok/Robotika_uvod.pdf - dostupno 03.01.2013.
- [5] <http://www.emeraldinsight.com/fig/0490350503015.png> – dostupno 08.01.2013.
- [6] I. Ciglar, Z. Botak, *Upravljanje i primjena robota "REIS ROBOTICS RV6L"*, Veleučilište u Varaždinu, Varaždin.
- [7] http://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/22_10_2009__11732_Nova_robotska_stanica.pdf - dostupno 03.01.2013.
- [8] S. Kralj, Š. Andrić, *Osnove zavarivačkih i srodnih postupaka*, Zagreb : FSB, 1992.
- [9] Z. Salopek, *Upotreba zaštitnih plinova pri zavarivanju – niskoaktivne plinske mješavine*, Zbornik radova Cavtat – Dubrovnik, 24 – 26 svibnja, 2001.
- [10] W. Danzer, *Diodni laser – Najbolji alat za zavarivanje nehrđajućeg čelika*, Zbornik radova Opatija, 02 – 04 listopada, 2003.
- [11] K. Grubić, V. Panić, *Utjecaj vrste zaštitnog plina na geometriju zavora*, Zbornik radova Cavtat – Dubrovnik, 24 – 26 svibnja, 2001.
- [12] <http://www.elektroda-zagreb.hr/proizvodi/zice.html> - dostupno 16.01.2013.
- [13] <http://rasco.hr/proizvodi/mosor-pk/> - dostupno 16.01.2013.
- [14] A. Smith, *CO₂ welding of steel*, The weldin institute, Cambridge, UK, 1971.
- [15] J. Norberto Pires, A. Loureiro and G. Bölsjö, *Welding Robots*, Springer, 2003.
- [16] http://www.sciencedaily.com/articles/i/industrial_robot.htm- dostupno 03.01.2013.
- [17] Anzulović, B. *Zavarivanje i srodni postupci* : skripta. Split : FESB, 1990.